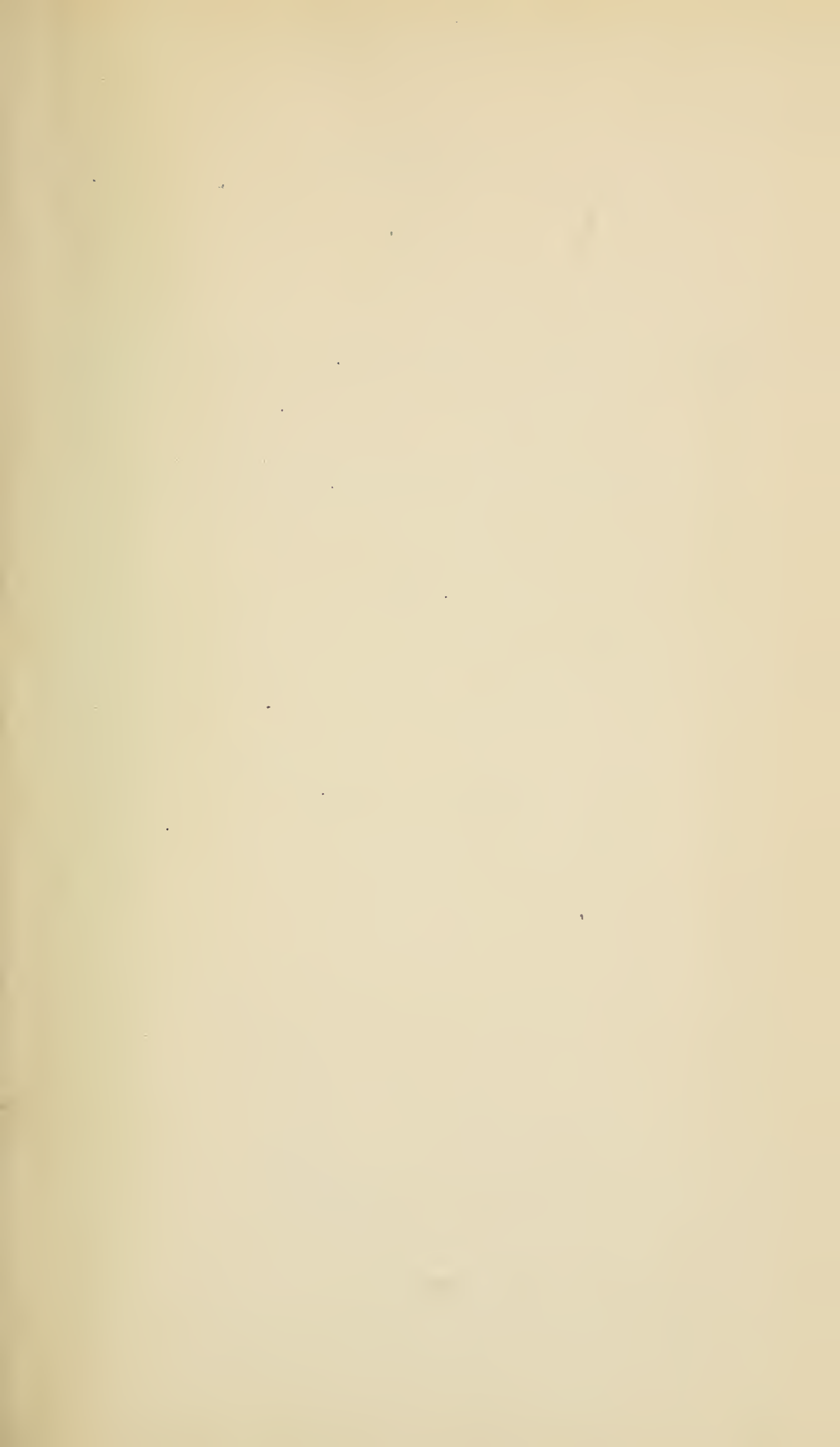








Effecte

der

NERVENREIZUNG

durch intermittirende Kettenströme.

Ein Beitrag zur Theorie des Electrotonus und der Nervenerregung

von

Dr. Br. Werigo
aus Petersburg.

Mit 9 Tafeln und 20 Holzschnitten.

Berlin 1891.
Verlag von August Hirschwald.
NW. Unter den Linden 68.

Inhaltsverzeichniss.



Einleitung.

Die vorliegende Untersuchung kann als unmittelbare Fortsetzung meiner früheren Arbeiten auf dem Gebiete der allgemeinen Nervenphysiologie betrachtet werden, da dieselben den Keim jener Grundideen enthalten, auf denen sich die jetzigen Versuche begründen. Noch zur Zeit, als ich die Effecte der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge untersuchte[1]), sah ich schon deutlich ein, dass die von mir beobachteten Erscheinungen eine sehr einfache physikalische Erklärung zulassen, welche unmittelbar aus der bekannten Hermann'schen Theorie des Electrotonus entspringt. Schon damals ersah ich, dass diese hypothetische Erklärung sich nicht nur auf den Fall der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge beschränke, sondern bedeutend weitgehendere Anwendung finden könne, weil durch dieselbe sich eine Möglichkeit eröffnete, die bis jetzt unbegreiflichen Pflüger'schen Erscheinungen des physiologischen Electrotonus zu erklären. Da jedoch eine so weitgehende Anwendung meiner Idee den allgemein anerkannten Ansichten über die electrische Nervenerregung widersprach, so entschloss ich mich damals, mich auf die blosse Darstellung der gewonnenen Thatsachen zu beschränken.

Gegenwärtig hat sich die Sachlage bedeutend verändert. Meine Versuche über die Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Kettenstrom, welche den Hauptgegenstand der vorliegenden Untersuchung bilden, gaben mir eine Reihe von Thatsachen, die der allgemein gültigen Theorie der electrischen Nervenerregung entschieden widersprechen. Indem ich auf dem Charakter der gewonnenen Thatsachen fusste, habe ich den Versuch gemacht, diese Theorie umzugestalten. Der Versuch hatte glücklichen Erfolg, da die ihm zu Grunde liegenden Vorstellungen sich nicht nur zur Erklärung der neu nachgewiesenen Erscheinungen, sondern auch derjenigen geeignet zeigten, aus denen du Bois-Reymond

[1]) Br. Werigo, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. XXXVI. 1885.

sein bekanntes Erregungsgesetz ableitete. Von der neu ermittelten Anschauung von der Erregungswirkung des Stromes geleitet, kam ich zur Ueberzeugung, dass diejenigen Widersprüche, die früher der rein physikalischen Erklärung der Pflüger'schen Erscheinungen des Electrotonus im Wege standen, jetzt nicht mehr vorhanden sind. Im Resultate ist es also möglich geworden, die Hermann'sche Electrotonustheorie mit den physiologischen Erscheinungen der Stromwirkung auf den Nerven in einen Zusammenhang zu bringen und dadurch die letzteren wesentlich aufzuklären.

Selbstverständlich bin ich weit entfernt, meine Hypothese als bewiesen zu betrachten. Jeder Versuch, einen mehr oder minder weiten Erscheinungskreis zu erklären, stösst, dem Wesen der Sache nach, auf bedeutende Schwierigkeiten: einerseits ist es unmöglich, den ganzen zu erklärenden Erscheinungskreis von neuem zu untersuchen, andererseits müssen in den schon vorhandenen Untersuchungen, die von anderen Gesichtspunkten unternommen wurden, unvermeidlich sehr beträchtliche Lücken vorkommen. Ohne meine Hypothese für bewiesen zu halten, muthe ich ihr jedoch keine unwichtige Bedeutung zu, da sie uns gestattet, isolirte Thatsachen in ein mehr oder minder harmonisches System zu gruppiren und gleichzeitig den Leitfaden zu weiteren Untersuchungen giebt. Die Resultate der letzteren mögen sein, wie sie wollen, ob sie zur Bestätigung meiner Hypothese oder zu ihrer Widerlegung führen, jedenfalls werden sie zum Fortschritte unserer Kenntnisse auf dem dunklen Gebiete der Nervenerscheinungen beitragen.

Dem Charakter meiner Arbeit entsprechend, stelle ich mich in zweifache Beziehung zur Literatur dieses Gebietes. Indem ich einerseits eine Reihe neuer Thatsachen hinsichtlich der Wirkung des intermittirenden Kettenstromes auf den Nerven mittheile, muss ich selbstverständlich alle Angaben berücksichtigen, welche in der Literatur über denselben Gegenstand schon existiren. Andererseits stelle ich einen neuen Standpunkt zur Erklärung sämmtlicher Erscheinungen der Wirkung des Stromes auf den Nerven auf, und muss also alle Untersuchungen zu Rathe ziehen, die in jener oder dieser Beziehung zu dieser besonders wichtigen Frage der Electrophysiologie stehen.

Doch liegt eine solche Aufgabe in ihrem ganzen Umfange nicht im Plane der vorliegenden Untersuchung. Wenigstens kam ich nach einem sorgfältigen Studium der Literatur des Gegenstandes zur Ueberzeugung, dass keine dringende Nothwendigkeit vorhanden ist, eine so vollkommene Literaturübersicht vorzunehmen: während diese Uebersicht den Umfang der vorliegenden Abhandlung bedeutend vergrössert hätte, würde sie doch nicht im Stande sein, etwas Wesentliches beizutragen. In der That, ausser Thatsachen und Theorien, die sich einer fast allgemeinen An-

erkennung freuen und in jedem Lehrbuche zu finden sind, existirt noch eine Menge Thatsachen und Hypothesen, die nur von einzelnen Schriftstellern verfochten werden und sowohl zu einander, als auch zu den allgemein gültigen Ansichten im Widerspruche stehen. Diese Widersprüche, die eine mangelhafte Bearbeitung des Gegenstandes unzweifelhaft beweisen, können nur mittelst experimenteller, nicht aber theoretischer Angaben ausgesöhnt werden; jeder Versuch, sie vom Standpunkte irgend welcher Theorie aufzuklären, muss unvermeidlich manches Muthmaassliche und Willkürliche enthalten.

Somit lasse ich mich in der vorliegenden Abhandlung nur durch diejenigen Thatsachen und Theorien leiten, die am ausführlichsten bearbeitet sind und heutzutage von der Mehrzahl der Physiologen anerkannt werden. Auf der Uebereinstimmung mit denselben werde ich meine Hauptbeweise zu Gunsten der Ansichten begründen, die ich vertheidige. Von den übrigen Literaturangaben werde ich nur denjenigen Aufmerksamkeit schenken, welche in der nächsten Beziehung zum Gegenstande meiner Untersuchung stehen.

Der experimentale Haupttheil dieser Arbeit, der die Frage über die Wirkung des intermittirenden Kettenstromes auf den Nerven betrifft, wurde im physiologischen Laboratorium der Universität zu St. Petersburg während der Jahre 1885 und 1886 ausgeführt. Ich halte es für eine angenehme Pflicht, hier deshalb die Gelegenheit zu ergreifen, um meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Setschenoff, für die Rathschläge, die ich während dieser Arbeit von ihm genossen habe, meinen innigsten Dank abzustatten. — Ich bin auch dem hochgeachteten Herrn Prof. Tarchanoff für die Theilnahme, die er an dieser Arbeit genommen hatte, zu grossem Danke verpflichtet.

22. Mai 1890.

Dr. Werigo.

Capitel I.

Die Pflüger'schen electrotonischen Erregbarkeitsänderungen vom Standpunkte der Hermann'schen Theorie des Electrotonus.

Seit den classischen Untersuchungen von Pflüger ist es bekannt geworden, dass der constante Strom nicht auf gleiche Weise auf eine von ihm durchflossene Nervenstrecke in ihrer ganzen Ausdehnung wirkt, dass aber die von ihm hervorgerufenen Erscheinungen an den entgegengesetzten Polen verschieden sind.

Zu den hervorragenden Erscheinungen solcher Polarwirkung gehört allerdings die von Pflüger untersuchte Eigenschaft des constanten Stromes, den Nerven in einen besonderen Zustand zu bringen, in welchem der bei Reizung durch einen neuen Strom zu beobachtende Erfolg wesentlich verändert — verstärkt (im Gebiete des Katelectrotonus) oder geschwächt (im Gebiete des Anelectrotonus) — erscheint. Als Pflüger diese Veränderungen mit den von du Bois-Reymond früher entdeckten galvanischen Erscheinungen des Electrotonus zusammengestellt hatte, kam er zur Ueberzeugung, dass zwischen denselben ein äusserst enger Zusammenhang vorhanden ist: alle Bedingungen, von welchen nach du Bois-Reymond die Stärke und die Verbreitung der electrotonischen Ströme längs des Nerven abhängen, bestimmen auch die Stärke und die Verbreitung der veränderten Fähigkeit des Nerven gegen das Reizen zu reagiren.

Zur Zeit, als Pflüger seine Untersuchungen anstellte, existirte nur eine, von Allen anerkannte du Bois-Reymond'sche Theorie des galvanischen Electrotonus. Diese Theorie sah die Ursache der electrotonischen Ströme in den besonderen Bewegungen der den Nerven bildenden electromotorischen Molecüle. In Folge dessen konnte Pflüger die vom Strome hervorgerufene Veränderung des Reizerfolges nicht anders als das Resultat besonderer Molecularveränderungen der Nervensubstanz betrachten. Von diesem Standpunkte aus schrieb er den entdeckten Erscheinungen eine physiologische Bedeutung zu, und indem er dieselben mit

dem Namen des physiologischen Electrotonus bezeichnete, sah er in ihnen eine Veränderung der Functionalfähigkeit des Nerven, eine Veränderung seiner Erregbarkeit. Auf diese Weise, wie Pflüger meint und wie es seit dieser Zeit von allen Physiologen angenommen ist, ruft der constante Strom von beiden Seiten des negativen Poles (im Gebiete des Katelectrotonus) eine erhöhte, von beiden Seiten des positiven aber (im Gebiete des Anelectrotonus) eine verminderte Erregbarkeit hervor.

Gegenwärtig ist die Annahme, dass der unter dem Einflusse des Stromes veränderte Reizerfolg auf die Veränderung der Erregbarkeit des Nerven hinweist, nicht so unvermeidlich, wie es früher schien. Wir wissen nämlich, dass Hermann in einer Reihe glänzender Arbeiten eine neue Theorie der galvanischen Erscheinungen des Electrotonus entwickelte; indem diese Theorie unsere Ansichten über das Wesen der electrotonischen Ströme ändert, kann sie auch selbstverständlich nicht ohne Einfluss auf unsere Vorstellungen über das Wesen des physiologischen Electrotonus bleiben. Von dieser Theorie geleitet, müssen wir anerkennen, dass die electrotonischen Ströme nichts Anderes sind, als Verzweigungen des polarisirenden Stromes, die sich, dank innerer Nervenpolarisation, in den Extrapolarraum weit über die Grenze der polarisirten Strecke ausbreiten. Es liegen also im Grunde der galvanischen Erscheinungen des Electrotonus rein physikalische Gründe. Demzufolge scheint die Voraussetzung keineswegs sonderbar zu sein, dass auch die Pfüger'schen Erscheinungen vielleicht von denselben physikalischen Ursachen bedingt werden. Wäre für eine derartige Erklärung der Pflüger'schen Erscheinungen irgend ein Stützpunkt vorhanden, so müssten wir ihm augenscheinlich eine höchst ernsthafte Aufmerksamkeit widmen.

Solcher Stützpunkt kann in der That gefunden werden.

Aus der Polarwirkung des Stromes, d. h. aus seiner Fähigkeit, verschiedene Erscheinungen im Gebiete des Katelectrotonus und des Anelectrotonus hervorzurufen, geht es unmittelbar hervor, dass die physiologischen Wirkungen nicht den in ihrem Wesen noch unbekannten Molecularvorgängen, welche der Strom in jedem Leiter hervorruft, zugeschrieben werden können: diese Vorgänge sind in der ganzen Ausdehnung der durchflossenen Nervenstrecke gleich, während die physiologischen Wirkungen an verschiedenen Stellen verschieden sind. Die Hermann'sche Theorie deutet namentlich auf eine physikalische Ursache eines solchen Unterschiedes hin. Sie zeigt, dass in Gebieten von Kat- und Anelectrotonus polarisatorische und electrolytische Processe entgegengesetzten Charakters verlaufen, aus denen auch die Verschiedenheiten der physiologischen Wirkung abgeleitet werden können. Von diesem Standpunkte aus ist die physiologische Wirkung des Stromes in jeder beliebigen Nervenstrecke vom Charakter und Stärke der an der

Grenze der Myelinsubstanz und des Axencylinders stattfindenden Polarisation abhängig[1]).

Die Anerkennung eines Zusammenhanges zwischen den physiologischen und galvanischen Erscheinungen des Electrotonus in jener allgemeinen Form, wie es oben gethan wurde, enthält nichts Neues und wurde schon mehrmals von Hermann an verschiedenen Stellen seiner zahlreichen Abhandlungen ziemlich klar geäussert. Indessen scheint es mir, dass dieser Zusammenhang viel bestimmter dargestellt werden kann.

Auf den Gedanken, dass man die Pflüger'schen Erscheinungen von einem sich auf die Hermann'sche Theorie stützenden rein physikalischen Standpunkte betrachten kann, kam ich, wie es schon in der Einleitung erwähnt wurde, in Folge der bei Versuchen mit gleichzeitiger Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge erlangten Resultate. Diese Versuche überzeugten mich, dass die Inductionsschläge im Stande sind, im Nerven dieselben Erscheinungen des physiologischen Electrotonus, wie auch der constante Strom hervorzurufen (ein schon früher von Sewall[2]) ermitteltes Resultat), nur mit dem Unterschiede, dass die Bedingungen, unter denen diese Eigenschaft der Inductionsschläge sich äussert, viel einfacher sind, woher auch die Erscheinungen selbst sich viel leichter erklären lassen. Bevor ich aber zu dieser Erklärung übergehe, halte ich es für nothwendig, die dazu gehörigen Versuche kurz zu beschreiben.

Indem ich den Leser in Bezug auf die Versuchsmethode auf meine frühere Abhandlung[3]) verweise, will ich hier nur bemerken, dass das von mir angewandte Verfahren gestattete, den Nerven an zwei Orten durch zwei Inductionsschläge entweder nacheinander oder absolut gleichzeitig zu reizen; zudem hatte ich die Möglichkeit, sowohl die Stärke als die Richtung beider Schläge ganz von einander unabhängig zu ändern.

Da ich meinen ersten Versuchen die den Pflüger'schen entsprechende

---

[1]) Im Text nehme ich überall an, dass die Polarisation an der Grenze des Axencylinders und der Myelinsubstanz stattfindet. Obgleich die Existenz der Polarisation im Nerven unzweifelhaft nachgewiesen ist, bleibt doch die Frage über die Stelle dieser Polarisation offen. In dieser Hinsicht kann man nur zweierlei Voraussetzungen aufstellen: die Polarisation existirt entweder an der Grenze zwischen dem Neurilemma und der Myelinsubstanz oder zwischen der letzteren und dem Axencylinder. Indem Hermann der Lösung dieser Frage keine wesentliche Bedeutung zuschreibt, neigt er sich doch eher zur ersten Voraussetzung. Ziehen wir aber in Betracht, dass der Nervenpolarisation eine wichtige physiologische Bedeutung zuerkannt werden muss, so glaube ich, dass wir vielmehr die Polarisation zwischen der Myelinsubstanz und dem Axencylinder zulassen dürfen, da alle physiologischen Eigenschaften des Nerven dem letzteren zugeschrieben werden.

[2]) On the polar effects upon nerves of weak induction currents. Journ. of Phys. III. 1881.

[3]) Pflüger's Arch. XXXVI. 1885.

Form geben wollte, so wählte ich (vor jedem Versuche) für beide Schläge verschiedene Intensitäten aus: der eine Schlag, der dem polarisirenden Strome gleichkommen musste und deshalb der „modificirende Schlag" von mir genannt wurde, war inframinimal (d. h. so schwach, dass er an und für sich keine Spur von Erregung hervorrufen konnte), der andere aber — der reizende Schlag — inframaximal. Dabei verglich ich die Zuckungshöhen, welche bei der Wirkung des reizenden Schlages zuerst vereinzelt und dann gleichzeitig mit dem modificirenden erhalten wurden.

Derartige, bei verschiedenen Lagen des reizenden Schlages hinsichtlich des modificirenden[1]) und bei verschiedenen Richtungen der beiden angestellte Versuche führten mich zu Resultaten, die ich in folgender allgemeiner Form ausdrücken kann: bei gleichzeitiger Wirkung beider Schläge wird die Zuckungshöhe in allen Fällen vergrössert, wenn der reizende Schlag in die Wirkungssphäre des Katelectrotonus, und vermindert, wenn er in die des Anelectrotonus des modificirenden Schlages fällt.

Es ist klar, dass diese Erscheinungen vollkommen den Pflüger-schen Erscheinungen des physiologischen Electrotonus entsprechen. In Folge dessen hielt ich mich für berechtigt, der Meinung von Sewall mich anzuschliessen und die gewonnenen Resultate dadurch zu erklären, dass der Inductionsschlag, während er den Nerven durchläuft, dieselben Erregbarkeitsänderungen hervorruft, wie auch der constante Strom.

Bei den beschriebenen Versuchen wurde die Erläuterung der Resultate vom Standpunkte der electrotonischen Erregbarkeitsänderungen in hohem Grade dadurch erleichtert, dass der eine von den Schlägen (der modificirende) beständig eine inframinimale Kraft besass. Aber auch bei weiteren Versuchen, bei welchen beide Schläge entweder ungefähr dieselbe Kraft besassen, oder jedenfalls sich von einander nicht so wesentlich unterschieden, dass man die erregende Wirkung nur dem einen zuschreiben könnte, habe ich das nämliche Resultat erhalten (in Bezug auf diese Versuche muss ich den Leser auf meine frühere Arbeit verweisen). Mit anderen Worten musste ich zu dem Schlusse gelangen, dass alle Erscheinungen der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge einen speciellen Fall der Pflüger'schen Erscheinungen des Electrotonus darstellen.

---

[1]) Der reizende Schlag wurde bei diesen Versuchen nicht nur in der extrapolaren, sondern auch in der intrapolaren Strecke des modificirenden angebracht. In dem letzterem Falle musste ich selbstverständlich in die Kreise beider Spiralen sehr grosse Widerstände einschalten, um eine Verzweigung der Ströme aus einem Kreise in den anderen zu verhüten.

Folglich, wäre es uns gelungen eine Ursache zu finden, welche die Pflüger'schen Erscheinungen bei Wirkung der Inductionsschläge erklären könnte, so würden damit alle Erscheinungen der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge erklärt.

Nun gehe ich zum Versuche über, eine solche Erklärung zu geben.

Wir haben schon früher gesehen, dass aus der Hermann'schen Theorie des Electrotonus der Schluss unmittelbar gezogen werden kann, dass der Strom seine physiologischen Wirkungen nur der an der Grenze der Myelinsubstanz und des Axencylinders stattfindenden Polarisation verdankt. Somit muss die Verschiedenheit der in den Wirkungssphären des An- und Katelectrotonus verlaufenden Processe darauf zurückgeführt werden, dass die electrotonischen Stromfäden, welche nach Hermann den polarisirten Nerven in seiner ganzen Ausdehnung durchdringen, im Anelectrotonus in den Axencylinder hinein — (anelectrotonische Stromzweige), im Katelectrotonus aber aus demselben herausfliessen (katelectrotonische Stromzweige). Wenn zwei Ströme (z. B. Inductionsschläge) auf den Nerven gleichzeitig wirken, so müssen ihre electrotonischen Stromfäden sich an denselben Stellen des Nerven mit einander treffen und sich in Folge dessen summiren. In dieser Summirung liegt, meiner Ansicht nach, die Enträthselung aller Erscheinungen der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Schläge. Wir müssen aber in diesem Falle der Vorstellung „Summirung“ eine andere Bedeutung geben, als die allgemein gebräuchliche.

Wenn man von der Summirung electrotonischer Ströme (oder eines electrotonischen und eines Nervenstromes) spricht, so pflegt man ausschliesslich nur die vom Galvanometer angezeigte Richtung dieser Ströme zu berücksichtigen, so dass man von deren Addition redet, wenn sie den Galvanometerzeiger im gleichen Sinne ablenken, und von deren Subtraction, wenn die Ablenkungen nicht gleichartig sind. Eine solche Vorstellung über die Summirung, die ganz gesetzmässig ist, wenn man ausschliesslich mit den galvanischen Effecten zu thun hat, muss in Betreff auf die physiologischen Effecte ganz unrichtig genannt werden: im Grunde der physiologischen Summirungsvorstellung muss die Polarisation liegen, welche, wie wir es so eben gesehen haben, die physiologischen Wirkungen des Stromes bedingt.

Deshalb muss man annehmen, dass die katelectrotonischen Zweige beider Schläge, wenn sie sich an einer und derselben Nervenstelle treffen, sich immer addiren, obgleich sie entgegengesetzte Ablenkungen der Galvanometernadel geben können; diese Zweige addiren sich, da sie aus dem Axencylinder in die Myelinsubstanz heraustreten, und folglich die negative Polarisation hervorrufen. Dasselbe kann man auch hinsichtlich des Zusammentreffens anelectrotonischer Zweige beider

Schläge wiederholen: dieselben addiren sich unabhängig von der Richtung, in welcher sie den Galvanometerzeiger ablenken, da sie alle in den Axencylinder eintreten und somit eine positive Polarisation hervorrufen. Umgekehrt, wenn an einer und derselben Nervenstrecke die anelectrotonischen Zweige des einen und die katelectrotonischen des anderen Schlages zusammentreffen, so muss, meiner Meinung nach, eine Subtraction der Stromzweige statthaben, wiederum ganz unabhängig von der am Galvanometer abzulesenden Ablenkung.

Auf diese Weise besteht die wesentliche Seite der von mir entwickelten Summirungsvorstellung darin, dass ich nur der Richtung der electrotonischen Stromfäden in Bezug auf den Axencylinder eine Bedeutung zuschreibe, d. h. dass ich bloss den Umstand berücksichtige, ob sie in den Axencylinder hinein- oder aus demselben herausfliessen.

Betrachten wir nun von diesem Standpunkte alle von uns besprochenen Erscheinungen der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge. Vorläufig aber erinnern wir an die bekannte Thatsache (Fick, Lamansky), dass die Inductionsschläge von mittlerer Stärke, welche gewöhnlich bei physiologischen Untersuchungen gebraucht werden, nur an ihren Kathoden den Nerven zu erregen vermögen. Wenn wir diese Thatsache im Sinne der Hermann'schen Theorie ausdrücken wollen, so können wir sagen, dass von den electrotonischen Zweigen eines Inductionsschlages, welche in den Axencylinder eintreten (anelectrotonische Zweige) und aus demselben herausfliessen (katelectrotonische Zweige) nur die letzteren zur Erregung fähig sind.

Diese Thatsache hat für uns eine sehr wichtige Bedeutung, denn wir können, uns auf dieselbe stützend, unsere Aufgabe sehr wesentlich vereinfachen, nämlich bei der Betrachtung der Effecte der gleichzeitigen Nervenreizung nur diejenigen Summirungsprocesse beachten, welche an der Kathode der Inductionsschläge stattfinden, weil die Processe an der Anode keine Erregung hervorrufen.

Nehmen wir an, dass von den zwei auf den Nerven wirkenden Schlägen der eine beständig eine inframinimale Stärke besitzt (der modificirende Schlag), der andere aber (der reizende Schlag), der im Gebiet des Kat- resp. Anelectrotonus des ersten angebracht ist, an und für sich eine submaximale Zuckung hervorruft. Dieser Fall wird an zwei angebrachten Figuren, welche schematisch die Nervenfaser mit dem Axencylinder c c und der Myelinsubstanz m m darstellen, erläutert. Der modificirende Schlag wirkt dann auf die Strecke A K, der reizende aber auf die Strecke a k resp. a'k' (auf der Fig. 1 in der adpolaren und auf der Fig. 2 in der abpolaren Richtung). Die ausgezogenen und die punktirten Linien, welche nach beiden Seiten von der Kathode und von der Anode jedes Schlages auseinander gehen, stellen schematisch die an- und kat-

Fig. 1.

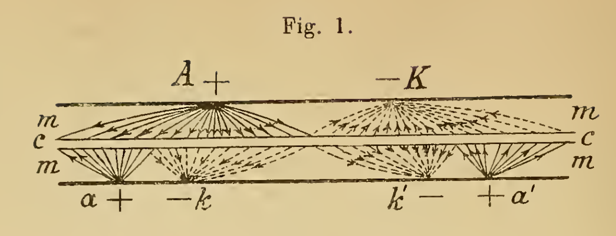
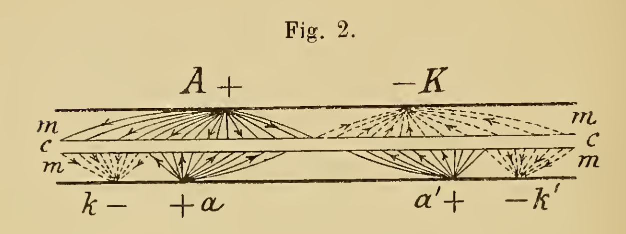


Fig. 2.



electrotonischen Zweige beider Schläge dar (die anelectrotonischen sind als ausgezogene, die katelectrotonischen als punktirte Linien gezeichnet). Diese Zweige sind der Einfachheit halber nur von oben für den modificirenden und nur von unten für die reizenden Schläge als hinein- und heraustretend gezeichnet, obwohl auf Grund der Hermann'schen Theorie die Stellen des Hinein- und Heraustretens des Stromes gleichmässig um den Axencylinder herum von allen Seiten vertheilt werden müssen.

Auf Grund unserer Summirungsvorstellung muss in jedem Punkte des Nerven, wo die electrotonischen Stromfäden der gleichzeitig wirkenden Schläge zusammentreffen, eine Addition derselben bei ihrer Gleichnamigkeit und eine Subtraction bei ihrer Ungleichnamigkeit stattfinden. Da kraft der Bedingungen der Versuche nur der reizende Schlag (nicht aber der modificirende) den Nerven zu erregen vermag, und dabei nur an seiner Kathode, so müssen wir deshalb bei der Beurtheilung der Erregungsgrösse in jedem Falle nur die katelectrotonischen Zweige des reizenden Schlages in Betracht ziehen.

Schon ein Blick auf die angebrachten Figuren genügt zur Ueberzeugung, dass der Effect der gleichzeitigen Wirkung beider Schläge sich von dem des reizenden Schlages allein unterscheiden muss. Der Effect muss nämlich im Anelectrotonus schwächer und im Katelectrotonus des modificirenden Schlages stärker sein: katelectrotonische Zweige des reizenden Schlages werden im ersten Falle geschwächt, und im zweiten verstärkt in Folge der Summirung mit den anelectrotonischen und den katelectrotonischen Zweigen des modificirenden Schlages. Selbstverständ-

lich müssen wir dieselben Resultate auch bei Verlegen des reizenden Schlages in die Interpolarstrecke des modificirenden erhalten.

Beim Vergleichen beider Figuren wird es auch ersichtlich, warum die Abschwächung und die Verstärkung des Effectes bei der adpolaren Richtung der reizenden Schläge grösser sind (Fig. 1) als bei der abpolaren (Fig. 2): im ersten Falle befinden sich die katelectrotonischen Zweige des reizenden Schlages an solchen Stellen des Nerven, wo die an- und katelectrotonischen Zweige des modificirenden Schlages eine grössere Stärke haben, als im zweiten[1]). Von demselben Standpunkte lässt sich auch die Abhängigkeit der Grösse des erhaltenen Effectes von der Entfernung des reizenden Schlages von der Anode resp. der Kathode des modificirenden erklären.

Auf eine ganz ähnliche Weise kann man auch alle übrigen von mir untersuchten Fälle erklären, wie sich der Leser selbst leicht überzeugen kann. Somit auf Grund des Gesagten müssen wir zum folgenden Schluss kommen: Die Erscheinungen des physiologischen Electrotonus, welche im Nerven durch Inductionschläge hervorgerufen werden, können nicht als wahre Modificationen der Nervenerregbarkeit, sondern als das Resultat der Summirung von electrotonischen Zweigen zweier gleichzeitig den Nerven durchlaufender Schläge betrachtet werden.

Diese Vorstellungsweise ist zweifellos die natürlichste, da wir damit die Möglichkeit erhalten die uns interessirenden Erscheinungen gänzlich aufzuklären. Ausserdem giebt diese Erklärung einen einfachen und deutlichen Ausdruck für den von allen Forschern anerkannten Zusammenhang zwischen den Erscheinungen des physiologischen und des galvanischen Electrotonus. Da jedoch die Effecte der gleichzeitigen Reizung des Nerven mit zwei Inductionsschlägen, wie wir früher gesehen haben, nur einen speciellen Fall der Pflüger'schen Erscheinungen des Electrotonus darstellen, so muss dieselbe Erklärung auch auf die letzteren anwendbar sein, ohne dies kann sie keinen ernsten Sinn haben.

Beim ersten Blick auf die Pflüger'schen Erscheinungen scheint es, dass man es hier mit ähnlichen Bedingungen, wie bei der gleichzeitigen Wirkung zweier Inductionsschläge zu thun hat. In der That muss der reizende und der polarisirende Strom sich auch hier in Form einer Reihe von Zweigen im Nerven vertheilen und diese Zweige müssen sich nach demselben Gesetze summiren. Bei einer näheren Betrachtung findet sich jedoch ein bedeutender Unterschied zwischen beiden Fällen.

---

[1]) Ueber die relative Wirksamkeit der ad- und abpolaren Schläge siehe meine früheren Arbeiten. Pflüger's Arch. Bd. XXXI u. XXXVI.

Bei der gleichzeitigen Wirkung zweier Inductionsschläge auf den Nerven summiren sich mit einander electrotonische Zweige, welche gleichzeitig entstehen und gleichzeitig verschwinden. In den Pflüger'schen Versuchen aber wird der polarisirende Strom früher geschlossen, als der reizende, somit fällt der letztere auf einen schon im Zustande des Electrotonus befindlichen Nerven. Das Summiren der electrotonischen Zweige beider Ströme bewirkt folglich: im ersten Falle — das Entstehen eines Electrotonus, welcher im Vergleich zu demjenigen jedes einzelnen Schlages eine veränderte Grösse hat, im zweiten — die Veränderung der Stärke eines schon im Nerven vorhandenen Electrotonus. Lassen wir uns durch die allgemein anerkannten Anschauungen leiten, welche die erregende Wirkung nicht der absoluten Stärke, sondern nur den Schwankungen des Electrotonus zuschreiben, so sind wir genöthigt anzunehmen, dass zwischen beiden Fällen ein principieller Unterschied existirt.

In der That liegt im Grunde meiner Erklärung der Gedanke, dass die Erregungsgrösse bei einer gleichzeitigen Wirkung zweier Ströme von der absoluten Stärke des Katelectrotonus abhängt, die als Resultat der Summirung der zusammentreffenden electrotonischen Zweige erscheint. — Es ist daher klar, dass meine Erklärung, indem sie im Falle der gleichzeitigen Wirkung zweier Inductionsschläge den allgemeingiltigen Anschauungen nicht widerspricht (die Gleichzeitigkeit beider Schläge bedingt nämlich, dass die resultirende Summe des Katelectrotonus und die Grösse seiner Schwankung immer Hand in Hand gehen müssen), auf die Pflüger'schen Erscheinungen nicht angewandt werden kann: die Veränderung des Reizungseffectes kann man nicht der Veränderung der absoluten Stärke des Katelectrotonus zuschreiben, falls es als sicher angenommen wird, dass die Grösse der Erregung von dieser Stärke unabhängig ist.

Auf diese Weise stehen wir vor dem Dilemma: entweder ist die von mir entwickelte Summirungsvorstellung bei der Erklärung der Pflüger'schen, also auch sämmtlicher Erscheinungen des physiologischen Electrotonus nicht anwendbar, oder sind die allgemein giltigen Anschauungen über die Erregung des Nerven durch den Strom unrichtig. In Folge der Nothwendigkeit auf dieses Dilemma Rücksicht zu nehmen, beschränkte ich mich in meiner früheren Arbeit, deren Resultate im vorliegenden Capitel zusammengefasst sind, nur darauf, dass ich eine Parallele zwischen den Pflüger'schen Erscheinungen und den Effecten der gleichzeitigen Reizung des Nerven durch zwei Inductionsschläge durchgeführt habe und mit keinem einzigen Worte die Möglichkeit einer Erklärung derselben vom Standpunkte der Summirung der electrotonischen

Zweige erwähnte. In der vorliegenden Abhandlung will ich nämlich einen Versuch machen dieses Dilemma zu lösen.

Fassen wir Alles in diesem Capitel erörterte zusammen, so gelangen wir zur Folgerung, dass für die Anwendung der Hermann'schen Theorie auf die Erklärung der Erscheinungen des physiologischen Electrotonus in der That ein Anhaltspunkt gefunden werden kann. Um aber diesen Anhaltspunkt zu benützen, ist eine weitere Prüfung der allgemein anerkannten Gesetze der electrischen Nervenerregung nothwendig.

Namentlich um diese Gesetze zu prüfen, habe ich die vorliegende Untersuchung der Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Kettenstrom auch angestellt.

Capitel II.

Untersuchungsmethode.

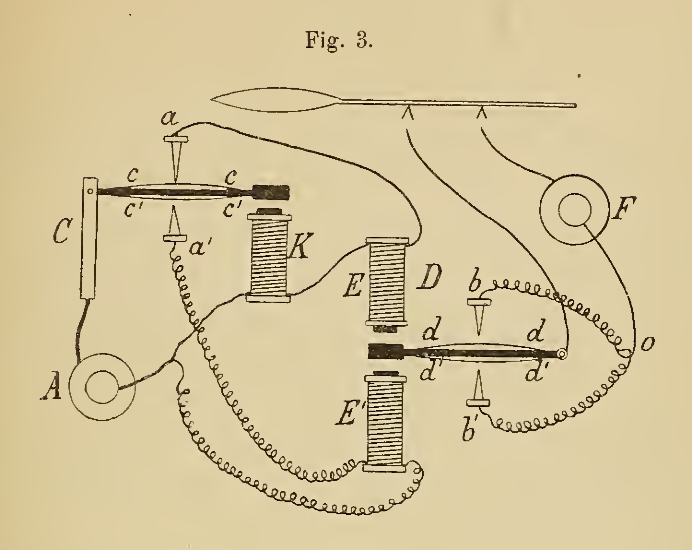
Schon von mehreren Forschern (Heidenhain, Engelmann, Grünhagen) wurden Versuche über die Nervenreizung durch einen intermittirenden Kettenstrom angestellt, auch haben sie verschiedene Apparate beschrieben, welche ihnen als Unterbrecher dienten. Dennoch schien es mir nothwendig für meine Experimente einen neuen Apparat zu construiren. Von gewissen Ueberlegungen geleitet schrieben die erwähnten Forscher eine besondere Bedeutung der hohen Reizfrequenz zu und richteten deshalb ihre Apparate auf solche Weise ein, um mehrere Tausende Unterbrechungen per Secunde zu erreichen, während ich die Absicht hatte, die Erscheinungen bei einer mässigen Reizfrequenz zu untersuchen.

Bevor ich aber zur Beschreibung meiner Methode einen intermittirenden Strom zu erhalten übergehe, muss ich auf einige Bedingungen hinweisen, deren Befolgung ich für nothwendig hielt. Ausser der Regelmässigkeit der Wirkung des Unterbrechers, welche sich in der annähernd gleichen Dauer der einzelnen Stromstösse sowie der sie von einander trennenden Unterbrechungen äussert, und ausser der Möglichkeit die Stärke des reizenden Stromes in sehr weiten Grenzen zu reguliren, schrieb ich eine besondere Wichtigkeit den beiden folgenden Bedingungen zu. Ich hatte die Absicht: erstens einen intermittirenden Strom, wenn auch von mässiger Frequenz, so doch mit möglichst kurzen Unterbrechungen, zu erhalten, und zweitens den Charakter des intermittirenden Stromes ceteris paribus derart zu modificiren, dass man statt hintereinander folgender Stromstösse von der nämlichen Richtung Stösse von abwechselnd entgegengesetzter Richtung bekommen könnte. Diese sowie auch noch andere weniger wichtige Bedingungen zu verwirklichen ermöglichte mir ein Unterbrecher, dessen Princip im Folgenden besteht.

Stellen wir uns zwei Hämmer von Halske vor (C und D auf der Fig. 3), welche von den gewöhnlich gebrauchten sich dadurch unter-

scheiden, dass sie während ihrer Schwingungen den Strom nicht von einer, sondern von beiden Seiten schliessen. Es sind dazu von beiden Seiten jedes mit zwei platten Federn von Halske (cc, c'c', dd und d'd')

Fig. 3.

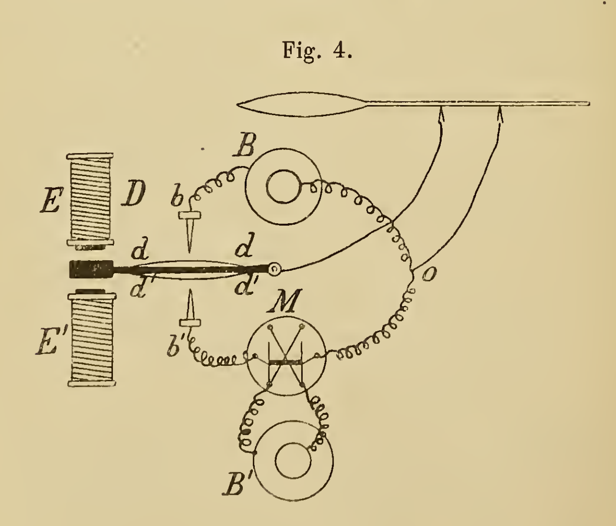


versehenen Hammers Stifte angebracht (die Stifte a und a' von beiden Seiten des Hammers C und b und b' von beiden Seiten des Hammers D), die bei den Schwingungen jedes Hammers abwechselnd in Berührung mit demselben kommen. Ausserdem hat der Hammer D nicht einen, sondern zwei von beiden Seiten angebrachte Electromagnete E und E'. Der Hammer C wird nur als Motor für den Hammer D benutzt und nur die Schwingungen des letzteren dienen zur Unterbrechung des den Nerven durchlaufenden Stromes. Das Gestell des Hammers C, sein Electromagnet K, sowie die Electromagnete E und E' sind mit einander und mit der Batterie A derart verbunden, wie es auf der Fig. 3 dargestellt ist. Der Strom bewegt sich von der Batterie zum Gestell des Hammers C, geht dann längs des Hammers zum oberen Stift a (der Hammer ist auf eine solche Weise gestellt, dass er vor Anfang der Versuche den oberen Stift berührt), von da zum Electromagnet E und zum Electromagnet K und dann wieder zur Batterie zurück. Da der Electromagnet K unter dem Einflusse des ihn durchlaufenden Stromes magnetisch wird, zieht er den Hammer an und lässt ihn den Stift a' berühren. Infolge dessen nimmt der Strom aus der Batterie A einen anderen Weg, nämlich er geht jetzt aus dem Hammer zum Stift a', von da zum Electromagnet E' und wieder zur Batterie zurück. Da in dem Momente, wenn der Hammer sich vom Stifte a ablöst, der Strom

im Electromagnet K unterbrochen wird, so kann die Berührung zwischen dem Hammer und dem Stifte a′ nicht dauernd sein und der von der anziehenden Wirkung des Electromagnetes befreite Hammer hebt sich in die Höhe und berührt wieder den Stift a, wonach Bedingungen entstehen, die eine Wiederholung derselben Bewegungen in derselben Reihenfolge hervorrufen. Mit anderen Worten geräth der Hammer C in eine beständige Schwingung und lässt dadurch den Batteriestrom abwechselnd bald durch den einen, bald durch den anderen Electromagnet des Hammers D durchfliessen. In Folge dessen geräth auch der Hammer D in eine constante schwingende Bewegung und berührt dabei abwechselnd die Stifte b und b′. Diese Stifte (b und b′) sowie auch das Gestell des Hammers D sind mit der Batterie und dem Nerven verbunden. Diese Verbindung kann auf eine zweifache Art angeordnet werden, je nachdem wir die Absicht haben den Nerven entweder durch eine Reihe von Stössen einer und derselben oder abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu reizen. Im ersten Falle genügt schon die Batterie F allein, wie es auf der Fig. 3 dargestellt ist. Der Strom bewegt sich aus der Batterie durch den Nerven zum Hammer D und von da, im Momente der Berührung des Hammers mit einem von den Stiften, kehrt er längs des Drahtes b o oder b′ o zur Batterie zurück.

Im zweiten Falle müssen wir die Leiter auf eine solche Weise anordnen, wie es auf der Fig. 4 dargestellt ist (hier ist nur der Hammer

Fig. 4.



D abgebildet). Es ist aus dieser Zeichnung ersichtlich, dass wir im gegebenen Falle zwei Batterien B und B′ und den Commutator M benutzen müssen. Bei der Schwingung des Hammers bekommt der Nerv Strom-

stösse abwechselnd bald von der einen, bald von der anderen Batterie, je nachdem der Hammer den Stift b oder den Stift b' berührt.

Der Commutator M, der in den Kreis der Batterie B' eingeführt ist, giebt uns die Möglichkeit, den Strömen beider Batterien willkürlich entweder eine gleiche, oder eine entgegengesetzte Richtung zu verleihen und somit den Nerven durch eine Reihe von Stössen entweder gleicher oder abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu reizen.

Das ist in den Hauptzügen das Princip, nach welchem mein Unterbrecher eingerichtet ist. Seine wesentlichen Vorzüge bestehen in Folgendem:

1. Das Vorhandensein eines zweiseitigen Contactes gestattet uns, doppelt so viel Unterbrechungen zu bekommen, als es beim Gebrauchen des gewöhnlichen Hammers von Halske möglich ist.

2. Derselbe zweiseitige Contact giebt uns die Möglichkeit, in einem bedeutenden Grade die Dauer der Unterbrechungen dadurch zu verkürzen, dass wir den einen oder den anderen Stift dem Hammer nähern.

3. Eine völlige Isolirung der Kreise beider Hämmer, des einen, der ausschliesslich als Motor dient, und des anderen, der zur Unterbrechung des im Nerven circulirenden Stromes bestimmt ist, ermöglicht, die Stärke des reizenden Stromes nach Belieben zu verändern, ohne dadurch im geringsten auf die Schwingungsbedingungen der Hämmer einzuwirken.

4. In der eben erwähnten Isolirung beider Kreise haben wir eine vollkommene Garantie, dass in den Nervenkreis keine Extraströme gerathen, die sich in den Windungen der Electromagnet-Spiralen entwickeln, und endlich:

5. Gestattet der Unterbrecher, eine Reihe Stromstösse entweder von einer und derselben oder von abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu bekommen, ohne die übrigen Bedingungen zu verändern.

Nach diesen vorläufigen Bemerkungen gehe ich zu einer ausführlichen Beschreibung meiner Methode über, welche in drei Theile zerfällt. Der erste Theil, nach einer detaillirten Beschreibung des Unterbrechers, wird von der Anordnung der Leiter und von der Art und Weise der Aufstellung des Apparates handeln. Hier werden auch die Messungsmethoden der Frequenz und der Dauer der Unterbrechungen dargelegt werden. In dem zweiten Theile werde ich diejenigen Modificationen in der Aufstellung beschreiben, welche ich benutzen musste, um den Charakter des intermittirenden Stromes, d. h. die Frequenz der Reizungen, die Dauer der Unterbrechungen u. s. w., verändern zu können. In dem

dritten Theile endlich werde ich die Behandlungsweisen beschreiben, deren ich mich bediente, um den Zustand eines der Wirkung des intermittirenden Stromes ausgesetzten Nerven zu verändern.

I. Die Aufstellung des Unterbrechers.

Wir haben schon früher gesagt, dass der Unterbrecher aus zwei vollkommen isolirten Hämmern C und D besteht. Der Hammer C, den ich als Motor für den Hammer D benutzte, erfordert keine ausführliche Beschreibung, da er sich wenig von dem gewöhnlich in den physiologischen Versuchen gebrauchten Hammer von Halske unterscheidet. Was denselben anbetrifft, so kann ich mich auf das früher Gesagte beschränken. Der Hammer D (siehe die Zeichnung auf Taf. 1) ist complicirter. Er ist derart eingerichtet, dass er sich in einer Horizontalfläche um eine Verticalaxe, die in einem Einschnitte des verticalen Gestells befestigt ist, drehen kann. Er ist von beiden Seiten mit zwei platten Federn von Halske und an dem dem Anker entgegengesetzten Ende mit zwei Drahtspiralfedern (g und g) versehen, welche mittelst zweier an besonderen Gestellen befestigten mikrometrischen Schrauben (g′ und g′) gespannt werden können. An demselben Ende des Hammers ist das Gegengewicht P angebracht, das uns gestattet, dem Hammer eine horizontale Lage zu geben[1]). Zu beiden Seiten des Hammers befinden sich zwei verticale kupferne Gestelle S und S. In ihnen sind Schraubenmütter eingeschnitten, in welchen sich besondere mikrometrische Schrauben, die Stifte b und b′ bewegen, wobei sie sich dem Hammer nähern oder sich von demselben entfernen können. Jeder Stift ist versehen: mit einem Griff, der uns gestattet, seine Lage leicht und genau zu verändern, und ausserdem mit einem Anzeiger, welcher sich auf einem mit 120 eingeschnittenen Theilungen versehenen verticalen Kreise bewegt. Diese Kreise sind an denselben Gestellen befestigt, in denen sich die Stifte bewegen, und lassen die letzteren durch die in ihren Centren liegenden Oeffnungen durchgehen. Das Gestell, auf welchem die Axe des Hammers angebracht ist, sowie auch die mit Stiften versehenen Gestelle sind mit Klemmschrauben verbunden. Zu beiden Seiten des Ankers des Hammers befinden sich die Electromagnete E und E′. Die Electromagnete sind mit einer kupfernen Fassung verbunden, mittelst der sie in besonderen Schlitten durch mikrometrische Schrauben e und e′ sich dem Hammer nähern oder von demselben entfernen können. Die Drähte

---

[1]) Ich gebrauchte dieses Gegengewicht nur, wenn ich den weiter zu beschreibenden Nebenapparat in Wirkung setzte.

jedes Electromagnetes endigen mit zwei Klemmschrauben, welche an ein Brett befestigt sind, das zugleich als Unterlage des ganzen Apparates dient.

Das sind die wesentlichen und in allen Experimenten nothwendigen Theile des Apparates. Ausserdem besitzt derselbe noch einen Nebenapparat, welcher von mir nur in einigen speciellen Fällen gebraucht wurde; ich werde ihn dennoch sogleich beschreiben. Wie man aus den Zeichnungen ersieht, endigt der Hammer nicht mit einem zwischen den Electromagneten angebrachten Anker, sondern besitzt eine Fortsetzung in Form eines kupfernen Stäbchens, an dessen Ende von beiden Seiten dünne Platinspitzen p und p′ befestigt sind. Zu beiden Seiten der Spitzen befinden sich zwei mit Quecksilber angefüllte, eigenthümlich eingerichtete Näpfchen V und V′. Jedes Näpfchen stellt einen hohlen Stahlcylinder dar, in dessen Wand von der zur Platinspitze gekehrten Seite eine runde Oeffnung von solcher Grösse gebohrt ist, dass die Spitze während der Schwingungen des Hammers leicht hinein- und herausgehen kann, ohne den Rand der Oeffnung zu berühren. In jedes von den Quecksilbernäpfchen ist so viel Quecksilber eingegossen, dass sein Niveau höher liegt, als der obere Rand der Oeffnung. Es entsteht auf diese Weise an der Stelle jeder Oeffnung ein Quecksilbermeniscus, in welchen während der Schwingungen des Hammers die entsprechende Spitze eintaucht. Die Näpfchen sind auf die beschriebene Weise eingerichtet, um die Oberfläche des Quecksilbers, an welcher der Contact stattfindet, immer rein zu behalten. In der That, da das Quecksilberniveau höher liegt, als die Contactoberfläche, müssen alle Producte der Oxydation sogleich an die Oberfläche des Quecksilbers heraustreten. Jedes von den Quecksilbernäpfchen befindet sich in einer Fassung, die folgende Bewegungen gestattet: erstens können sich die Näpfchen um ihre Verticalaxe drehen, zweitens können sie mittelst zweier Schrauben L und L′ hinauf und herunter geschoben werden und endlich gestatten die mikrometrischen Schrauben Q und Q′ dem Näpfchen, sich dem Hammer zu nähern und von demselben zu entfernen. Die Bestimmung der Näpfchen ist vollkommen klar: der Contact zwischen den Platinspitzen und dem Quecksilber kann völlig denjenigen zwischen dem Hammer und den Stiften b und b′ ersetzen.

Jetzt gehe ich zur Beschreibung der Einzelnheiten bei der Anordnung der Versuche über.

Es ist selbstverständlich, dass die durch die Figg. 3 und 4 dargestellte schematische Einrichtung der Leiter für die Versuche nicht genügend ist, da wir dadurch keine Andeutungen mancher sehr wichtiger Bedingungen der Wirkung des Unterbrechers bekommen können. Erstens sind wir dessen nicht sicher, dass der Hammer während seiner Schwin-

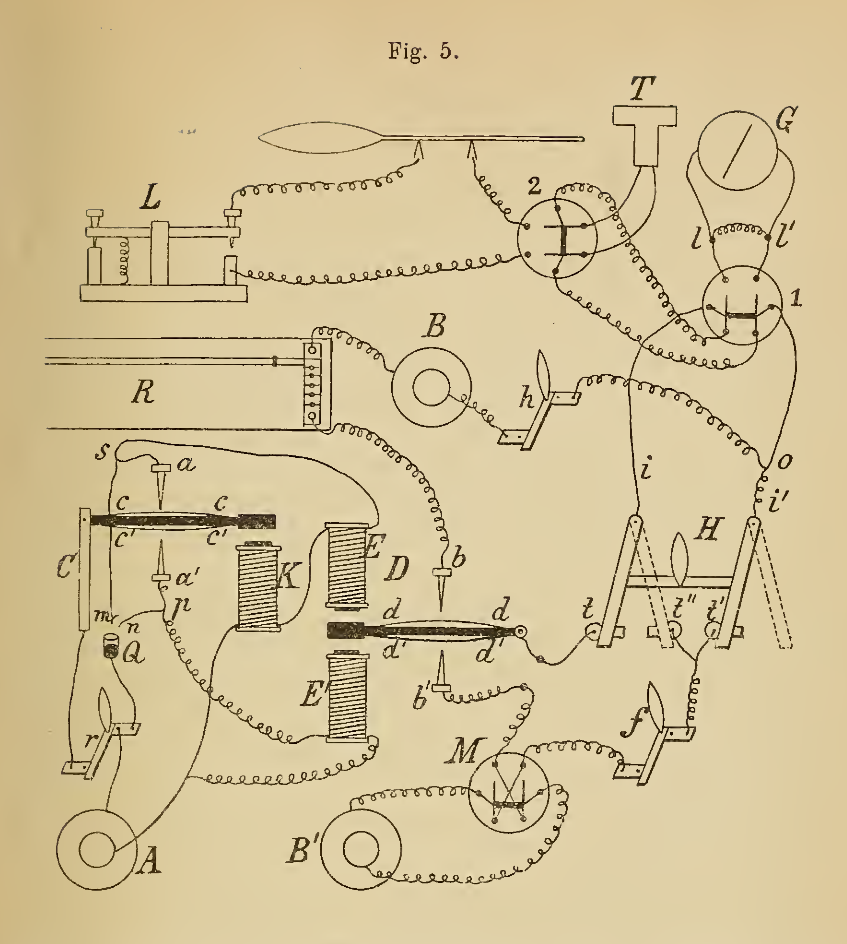
gungen wirklich abwechselnd beide Stifte berührt. Zweitens, könnten wir uns auch überzeugen, dass ein zweiseitiger Contact wirklich stattfindet, so hätten wir doch keine Garantie, dass die Dauer der Berührung von beiden Seiten gleich ist. Drittens, suchen wir durch eine Annäherung der Stifte b und b' zum Hammer die Dauer der Unterbrechungen möglichst abzukürzen (was für uns, wie wir sehen werden, äusserst wichtig ist), so können wir nicht sicher sein, dass die Stromunterbrechungen wirklich noch vorhanden sind.

Um eine Möglichkeit zu haben, bei jedem Versuche zu wissen, wie alle oben angeführten Bedingungen sich verändern, und jede von ihnen nach Willkür verändern zu können, müssten wir das Experiment natürlich viel complicirter einrichten. Auf der Fig. 5 ist eine Anordnung der Leiter schematisch dargestellt, die sich zu unserem Zwecke vollkommen genügend erwies.

Der den Hammer C mit den Electromagneten des Hammers D verbindende Kreis erforderte nur unbedeutende Complicationen: die Zugabe eines Schlüssels r, der Drähte sm und pn und des Quecksilbernäpfchens Q. Ist nun der Schlüssel r geschlossen und sind die Drähte s m und p n nicht ins Quecksilbernäpfchen Q eingetaucht, so wirkt der Hammer auf die nämliche Weise, wie es früher beschrieben war. Stellen wir uns jetzt vor, dass der Schlüssel r geöffnet und der Draht s m ins Quecksilber des Näpfchens Q eingetaucht ist. In diesem Falle nimmt der Strom der Batterie A den folgenden Weg: er geht zur rechten Seite des Schlüssels r, von da ins Quecksilbernäpfchen Q, dann durch den Draht s m zum Electromagnet E und durch den Electromagnet K in die Batterie zurück. Es ist klar, dass der Strom ununterbrochen den angedeuteten Weg durchlaufen muss, so lange der Draht s m ins Quecksilbernäpfchen Q eingetaucht ist. In Folge dessen, indem der Electromagnet E den Hammer D an sich zieht, wird der Contact zwischen dem Hammer und dem Stifte b hergestellt (Fig. 5). Tauchen wir aber ins Quecksilbernäpfchen Q statt des Drahtes s m den Draht p n ein, so geht der Strom durch die rechte Seite des Schlüssels, durch das Näpfchen Q und den Draht p n zum Electromagnet E' und von da wieder zur Batterie zurück. Jetzt wird der Hammer D vom Electromagnet E' angezogen und kommt in eine dauernde Berührung mit dem Stifte b'. Die Nothwendigkeit der beschriebenen Zugaben wird uns später klar werden.

Viel wesentlicher ist die Complication des Kreises des Hammers D. Auf der Zeichnung ist eine Anordnung der Leiter schematisch dargestellt, die ich in dem Falle gebrauchte, wenn es nöthig war, den Nerven nach Belieben durch eine Reihe von Stromstössen entweder von einer und derselben oder von abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu reizen. Die Buchstaben auf der Figur haben folgende Bedeutnng: B und B' stellen

Fig. 5.



zwei (der Zahl und der Grösse der Elemente nach) vollkommen gleiche Batterien vor, welche aus einer bestimmten Zahl immer mit derselben Flüssigkeit angefüllter Elemente von Daniel bestehen, und folglich eine gleiche electromotorische Kraft besitzen. M ist ein Commutator, f und h sind Schlüssel, welche zum Schliessen und zum Oeffnen der Kreise bestimmt sind; R ist ein Rheochord, welcher direct in den Kreis der Batterie B eingeführt ist und gestattet, den Widerstand nach Willkür zu vergrössern und zu vermindern. H stellt einen besonderen Schlüssel dar, welcher aus drei mit Klemmschrauben versehenen kupfernen Knöpfen t, t' und t'' und zwei Kupferplatten besteht; die letzteren können beide zusammen vermittelst eines, mit einem Henkel versehenen, knöchernen Querbalkens, der dieselben verbindet, um die Axen i und i' verschoben werden. Bei einer solchen Lage der Platten, wie sie in der Zeichnung durch ausgezogene Linien dargestellt ist, berühren ihre freien Enden die Knöpfe t und t', bei der durch punktirte Linien dargestellten Lage aber

berührt die linke Platte den Knopf t'', während die rechte keine Metalltheile berührt; 1 und 2 sind Paul'sche Wippen mit herausgenommenen Kreuzen, l und l' mit Quecksilber gefüllte Näpfchen, G ein Galvanometer, T ein Telephon, L ein Hebel von Helmholtz. Die übrigen mit Buchstaben nicht bezeichneten Theile stellen einen Muskel und einen Nerven dar; an letzteren sind zwei unpolarisirbare Electroden angelegt.

Es ist augenscheinlich, dass die auf der Zeichnung dargestellte Lage der Leiter der auf der Fig. 4 angeführten genau entspricht. In der That stellen wir uns vor, dass der Hammer D in eine beständige Schwingung versetzt wird, wobei er abwechselnd die Stifte b und b' berührt; weiter, dass die Wippe 1 nach unten und die Wippe 2 nach links hinübergeworfen und dass der rechte Arm des Helmholtz'schen Hebels gegen die Unterlage angedrückt ist. Es ist leicht zu verstehen, dass bei diesen Bedingungen der Nerv eine Reihe von Stromstössen erhält, welche abwechselnd von der Batterie B und der Batterie B' ausgehen. Anfangs lassen wir zu, dass der Hammer im gegebenen Momente den Stift b' berührt. Dann hat der Strom aus der Batterie B keinen Zugang zum Nerven, da sein Kreis an der Stelle des Stiftes b geöffnet ist. Der Strom aus der Batterie B' geht aber zum Commutator M, von da durch den Stift b' zum Hammer, dann längs des Drahtes, welcher das Gestell des Hammers mit dem Schlüssel H verbindet, zum Knopf t, passirt die Kupferplatte ti und wendet sich durch die Wippen 1 und 2 zum Nerven; von wo er durch dieselben Wippen in die Platte i' t' geht und endlich durch den Commutator M in die Batterie zurückkehrt. Berührt aber der Hammer den Stift b, so ist der Strom der Batterie B' nicht im Stande an den Nerven zu gelangen, da sein Kreis an der Stelle des Stiftes b' unterbrochen ist; der Strom der Batterie B aber geht durch den Rheochord R zum Stifte b, von wo er durch den Hammer D, durch die Platte ti, Paul'sche Wippe 1 und durch die anderen zum Nerven gerichteten Leiter denselben Weg einschlägt, wie auch früher der Strom der Batterie B'; weiter tritt er wieder aus der Wippe 1 heraus, geht längs des Drahtes zum Punkte o und kehrt endlich durch den Schlüssel h in die Batterie B zurück. Das ist der Weg des Stromes in dem Falle, wenn die Paul'schen Wippen auf die oben beschriebene Weise aufgestellt sind. Bringen wir dieselben in eine andere Lage, so können wir selbstverständlich den Strom durch das Galvanometer G und das Telephon T durchgehen lassen.

Ist es nun nöthig, den Apparat auf eine solche Weise anzuordnen, dass ein intermittirender Strom mit einer Reihe von Stössen entsteht, die durch möglichst kurze Unterbrechungen von einander getrennt sind, ferner, dass alle Stösse von gleicher Stärke und gleicher Dauer sind und nach Belieben entweder eine und dieselbe, oder

abwechselnd entgegengesetzte Richtung besitzen, so müssen folgende Manipulationen vorgenommen werden.

Zunächst machen wir die Widerstände in den Kreisen der Batterien B und B′ einander ganz gleich, so dass jeder Strom für sich im Galvanometer vollkommen gleiche Ablenkungen des Zeigers hervorrufen kann. Obgleich der Unterschied zwischen den Widerständen beider Kreise keinen Einfluss auf die Stärke des Stromes ausüben kann, falls wir denselben durch den Nerven schicken (die electromotorischen Kräfte der beiden Batterien sind gleich, wie es schon früher bemerkt ist, und die kleinen Differenzen zwischen den Widerständen der Elemente und der Metalltheile beider Kreise müssen vor dem mächtigen Widerstande des Nerven verschwinden), so ist dennoch die Gleichheit der Widerstände nothwendig, wie wir uns später überzeugen werden. Um eine solche Gleichheit zu erreichen, habe ich in den Kreis der Batterie B den Rheochord R eingeführt und in dem Kreise der Batterie B′ alle Leiter aus viel dünneren und längeren Drähten, als es in dem Kreise B der Fall war, gemacht. In Folge dessen nahm der Widerstand des Kreises B′ immer Ueberhand, wenn der bewegliche Contact des Rheochordes auf Null stand, ungeachtet der zufälligen Widerstandsunterschiede der in den einen oder den anderen Kreis eingeführten Elemente, und daher war es vollkommen möglich, mittelst einer entsprechenden Aufstellung des Rheochordes R die Widerstände der beiden Kreise ganz gleich zu machen. Zu diesem Zwecke muss man in unserem Falle auf folgende Art verfahren. Nachdem wir die Paul'sche Wippe 1 nach oben hinübergeworfen und den in den Kreis des Hammers C eingeführten Schlüssel r geöffnet haben, tauchen wir den Draht pn in das Quecksilbernäpfchen Q. Dabei wird, wie wir schon wissen, der Hammer D vom Electromagnet E′ angezogen und schliesst von der Seite des Stiftes b′ den Kreis der Batterie B′. Der Strom dieser Batterie schlägt den oben beschriebenen Weg ein und geht zur Wippe 1 und von da längs des Drahtes ll′, wobei er einen Zweig zum Galvanometer G schickt. Das für diese Versuche gebrauchte Galvanometer war eine gewöhnliche Sinus- und Tangens-Bussole von Siemens und Halske. Die Ablenkungen wurden nach der Sinusmethode, als nach einer genaueren abgelesen. Nachdem wir die von dem Strome der Batterie B′ hervorgerufene Ablenkung abgelesen haben, nehmen wir aus dem Quecksilbernäpfchen Q den Draht pn heraus und tauchen statt seiner den Draht sm hinein. Dabei wird der Hammer D vom Electromagnet E angezogen und schliesst den Strom der Batterie B von der Seite des Stiftes b. Steht der Contact des Rheochordes auf Null, so ruft dieser Strom in Folge einer kleineren Summe von Widerständen in dem Kreise eine grössere Ablenkung hervor, als der Strom der Batterie B′. Durch eine

entsprechende Aufstellung des Rheochordes bringen wir den Zeiger in dieselbe Lage, in welcher er sich in Folge der Wirkung dieses letzteren befand.

Nachdem auf diese Weise eine Gleichheit in der Stärke der Ströme B und B′ erlangt ist, lassen wir den Strom der Batterie A durch den Hammer C gehen, wie es nothwendig ist, um ihn in eine schwingende Bewegung zu versetzen, d. h. wir schliessen den Schlüssel r und nehmen die Drähte pn und sm aus dem Gefässe Q weg. Ist der Hammer vorher schon aufgestellt, so fängt er sogleich an zu schwingen. Geschieht dies aber nicht, so müssen wir uns an seine Aufstellung machen, mit deren Beschreibung ich mich nicht lange aufhalten will, da sie auf die gewöhnliche Weise bewirkt wird. Ich will nur bemerken, dass wir unser Bestreben darauf richten müssen, dass der Hammer während seiner Schwingungen nicht nur den oberen Stift a, sondern auch den unteren a′ berühre.

Ist nun der Hammer C in Schwung gekommen, so magnetisirt er abwechselnd die Electromagnete E und E′, wodurch auch der Hammer D bei einer entsprechenden Aufstellung in eine Schwingungsbewegung geräth. Es ist am besten den Hammer D auf folgende Weise aufzustellen. Nachdem die Electromagnete E und E′ möglichst weit vom Hammer geschoben sind, spannen wir die Federn g und g (siehe die Zeichnung) dermaassen, dass der Hammer sich senkrecht zu ihrer Richtung stellt und sich mit einer gewissen Kraft in seiner Lage festhält. Darnach schieben wir die Electromagnete E und E′ zum Hammer so nahe vor, bis dass der letztere in Schwung kommt und dabei bald den einen, bald den anderen Electromagnet berührt. Nachdem wir die Wippe 1 nach unten und die Wippe 2 nach rechts hinübergeworfen haben, legen wir das Ohr an das Telephon an. Das Telephon bleibt dabei in Ruhe, wenn die Stifte b und b′ den Hammer nicht berühren. Nun nähern wir einen der Stifte, z. B. b, so lange, bis der im Telephon erschienene Ton das Entstehen eines Contactes zwischen dem Stifte und dem Hammer zeigt. Dieser Ton hängt von einer Reihe von Stromstössen der Batterie B ab, die durch das Telephon gehen. Nachher rücken wir zum Hammer den anderen Stift b′ so weit heran, bis die Erhöhung des im Telephon hörbaren Tones auf eine Octave uns zeigt, dass auch der Stift b′ den Hammer berührt, und dass folglich auch eine Reihe von Stromstössen der Batterie B′ das Telephon erreicht.

Nachdem wir auf diese Weise die Berührung des schwingenden Hammers mit den beiden Stiften bewirkt haben, schieben wir die Electromapnete E und E′ gerade so weit auf die Seite, dass der Hammer bei seinen Schwingungen dieselben nicht mehr berühren kann. Dies wird

gemacht, um eine möglichst grosse Regelmässigkeit der Schwingungen zu erhalten, die, wie es die Versuche gezeigt haben, eine wesentliche Störung erdulden, wenn der Hammer die Electromagnete berührt, was wahrscheinlich von der Schärfe des dabei stattfindenden Schlages abhängt. Sind die Electromagnete entfernt, so berührt der schwingende Hammer nur die Stifte b nnd b'. Die bei diesen Contacten stattfindenden Schläge verlieren in Folge der Elasticität der platten Federn von Halske ihre Schärfe und sind deswegen mit der Regelmässigkeit der Schwingungen vereinbar. Dennoch ist der Ton im Telephon auch jetzt gewöhnlich nicht vollkommen regelmässig, was auf eine solche Aufstellung der Hämmer C und D hindeutet, bei welcher sie unfähig sind, mit gleicher Schnelligkeit zu schwingen. Um sie zu einem gleichmässigen Schwingen zu bringen, wollen wir nun die Aufstellung des Hammers C verändern, indem wir den Stift a so lange ein- und auschrauben, bis der Ton im Telephon vollkommen regelmässig wird. Dies lässt sich immer sehr leicht erreichen.

Ist die Regelmässigkeit des Tones gewonnen, so müssen wir uns davon überzeugen, ob der Contact des Hammers D mit den Stiften b und b' während der beschriebenen Manipulationen immerfort zweiseitig bleibt. Zu diesem Zwecke öffnen wir abwechselnd die in die Kreise der Batterien B und B' eingeführten Schlüssel h und f; das Sinken des im Telephon hörbaren Tones auf eine Octave beim Oeffnen eines von den Schlüsseln beweist das Vorhandensein eines zweiseitigen Contactes. Erweist es sich aber, dass einer von den Stiften nicht berührt wird, so müssen wir denselben dem Hammer nähern.

Bei der bis jetzt beschriebenen Aufstellung haben wir noch keine Garantie, dass die Dauer der Stromunterbrechungen schon ihre minimale, bei unserem Apparate mögliche Grösse erreicht hat. Die Dauer der Unterbrechungen kann vermindert werden, wenn wir die Stifte dem Hammer noch mehr nähern. Bei dieser Annäherung muss aber ein Moment eintreten, wo die Unterbrechungen des Stromes aufhören und das Schwingen des Hammers dennoch fortdauert. Die Nothwendigkeit des Eintretens dieses Momentes wird dadurch bewirkt, dass zu beiden Seiten des Hammers sich zwei elastische platte Federn befinden. Stellen wir uns vor, dass die Stifte (Fig. 6) so weit vorgeschoben sind, dass sie bei der ruhigen Lage des Hammers gleichzeitig die beiden Federn berühren, so ist es klar, dass eine solche Berührung keineswegs die Möglichkeit der Schwingungen ausschliesst, da der Hammer sich in Folge der Elasticität der Federn noch weiter nach beiden Seiten zu den Stiften bewegen kann; es ist aber auch klar, dass der Strom bei den Schwingungen nicht unterbrochen werden kann, da die Berührung mit einem

von den Stiften früher eintritt, als der Contact zwischen dem Hammer und dem anderen sich auflöst, d. h. der Strom der einen Batterie schliesst sich früher, als derjenige der anderen unterbrochen wird.

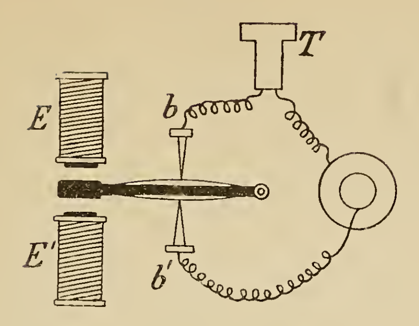
Da eine Möglichkeit des Verschwindens der Stromunterbrechungen bei der Annäherung der Stifte b und b′ an den Hammer vorhanden ist, so müssen wir zu einer sicheren Methode greifen, die uns eine genaue Controlle über das Eintreten eines solchen Momentes gewähren könnte. Es könnte scheinen, dass es zu diesem Zwecke hinreiche, nur auf den Ton im Telephon zu lauschen: mit dem Aufhören der Stromunterbrechungen müsste auch dieser Ton aufhören. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass es nicht der Fall ist; der Ton verschwindet nicht, sondern er wird nur mehr oder minder abgeschwächt. Das Vorhandensein des Tones lässt sich in diesem Falle auf folgende sehr einfache Weise erklären. Während der Schwingungen des Hammers bei den allzu sehr genäherten Stiften muss man erstens Momente unterscheiden, wo der Hammer auf die Seite eines der Stifte so weit rückt, dass die Berührung mit dem anderen aufhört, und zweitens Momente, wo der Hammer beide Stifte gleichzeitig berührt.

Während der Momente erster Art geht durch das Telephon der Strom nur aus einer der Batterien, während der Momente der zweiten Art aber entstehen complicirtere Bedingungen für die Vertheilung der Ströme aus beiden Batterien, in Folge deren jede Batterie einen besonderen Stromzweig in das Telephon schickt. Da die Stärke dieser Zweige nur zufällig etwa der Stärke des vollen Stromes gleichkommen kann, so muss deshalb während der Schwingungen des Hammers eine beständige Veränderung der Stärke des im Telephon circulirenden Stromes stattfinden, und man hört folglich einen mehr oder minder abgeschwächten Ton. Von der Nothwendigkeit einer solchen Stromverzweigung kann sich der Leser am besten durch die Betrachtug der Fig. 4 überzeugen, weil hier die Lage der Leiter, obgleich sie im Principe mit derjenigen auf der Fig. 5 identisch bleibt, in einer vereinfachten Form erscheint.

Obgleich wir bei der allmäligen Annäherung der Stifte recht klar hören können, wie der starke Ton in den schwachen übergeht, enthält doch eine solche Methode, den Augenblick des Ueberganges der Unterbrechungen zu bestimmen, manches Subjective, und daher wäre es wünschenswerth, eine andere sicherere Verfahrungsweise zu ermitteln. Das in meinen Versuchen angewandte Verfahren besteht in Folgendem:

Gesetzt, wir wären im Stande, in jedem beliebigen Momente statt der auf der Fig. 5 dargestellten Anordnung der Leiter eine starke Batterie mit den Stiften und mit dem Telephon auf solche Weise zu verbinden, wie es die Fig. 6 zeigt, so ist es klar, dass der Strom in diesem Falle nur in jenen Momenten durch das Telephon gehen kann, wo eine

Fig. 6.



gleichzeitige Berührung des Hammers mit den beiden Stiften stattfindet.

Wenn wir also während der Schwingungen des Hammers unter solchen Bedingungen einen Ton hören, so beweist es uns unzweifelhaft, dass die Stifte einander zu sehr genähert sind; bleibt aber das Telephon in Ruhe, so bedeutet dies, dass dieselben richtig aufgestellt sind. Da es sehr unbequem wäre, eine neue Batterie und ein zweites Telephon zum Controlliren der Unterbrechungen einzuführen, so wurde es nöthig, den Versuch auf eine solche Weise einzurichten, dass man die Möglichkeit hatte, über den Strom der schon eingeführten Batterien B und B′ so schnell und leicht zu verfügen, wie es für die Controlle erforderlich ist. Zu diesem Zwecke diente mir der Schlüssel H (Fig. 5); die Verschiebung der Platten desselben nach rechts aus der mit ausgezogenen Linien dargestellten Lage in die mit den punktirten bezeichnete gab dem gemeinsamen Strome der beiden Batterien B und B′ (allerdings bei einer entsprechenden Stellung des Commutators M) die erwünschte Richtung. In der That, bei der angedeuteten Lage des Schlüssels H hat der Strom der Batterie B′, nachdem er durch den Commutator M zum Stifte b′ gekommen ist, weiter nur einen Weg einzuschlagen, und zwar quer durch den Hammer zum Stifte b, da er nicht mehr längs des Hammers zum Knopfe t gehen kann (von da giebt es keinen weiteren Weg für den Strom). Aus dem Stifte b wendet sich der Strom durch den Rheochord R zur Batterie B und aus der letzteren durch den Schlüssel h zum Punkte o. Von o aus kann der Strom nicht zum Schlüssel H in der Richtung o i′ gelangen, da von hier kein weiterer Weg existirt, und deshalb wendet er sich zur Wippe 1, geht durch die Wippe 2 und durch das Telephon; dann kehrt er zur Wippe 1 zurück, geht zum Schlüssel H, passirt dessen Platte i t″ und kehrt endlich durch den Schlüssel f und den Commutator M in die Batterie B′ zurück.

Nachdem wir die Methode der Controllirung der Unterbrechungen dargelegt haben, setzen wir die Beschreibung der Aufstellung unseres Apparates weiter fort. Wir sind hier bei dem Momente stehen geblieben, wo der Hammer in eine regelmässige Schwingungsbewegung versetzt wurde, durch welche ein abwechselnder Contact mit den Stiften b und b′ erzeugt wird und im Telephon ein diesem zweiseitigen Schliessen der Ströme entsprechender Ton entsteht. Bei der weiteren Aufstellung müssen wir, wie es schon früher gesagt wurde, unser Bestreben darauf richten, dass die Dauer der Unterbrechungen möglichst abgekürzt werde. Zu diesem Zwecke schieben wir die Platten des Schlüssels H nach rechts und fangen allmälig an, einen der Stifte, z. B. den Stift b, dem Hammer zu nähern, bis das bis jetzt ruhige Telephon zu ertönen beginnt. Diese Erscheinung entspricht, wie wir es schon wissen, jenem Momente, wo die Stifte einander so nahe stehen, dass die Berührung des Hammers mit dem einen von ihnen noch nicht aufgehört hat, während schon die Berührung mit dem anderen entsteht. Indem wir den Stift b hin- und herbewegen, können wir ihm sehr genau eine solche Lage geben, bei welcher das Telephon nicht mehr ertönt, doch bei der geringsten Annäherung des Stiftes an den Hammer sogleich wieder zu tönen beginnt: eine solche Lage entspricht genau derjenigen, bei welcher die Dauer der Unterbrechungen möglichst kurz ist.

Die beschriebene Methode, welche uns erlaubt, durch die Art der Aufstellung der Stifte b und b′ ein Minimum der Unterbrechungen zu erreichen, giebt uns zugleich die Möglichkeit, uns von der Gleichheit der electromotorischen Kräfte der Batterien B und B′ zu überzeugen. Wie schon früher gesagt, wurden die Elemente beider Batterien zur Erlangung einer solchen Gleichheit jedesmal mit einer und derselben Flüssigkeit angefüllt. Doch ist es klar, dass diese so zu sagen theoretische Garantie der Gleichheit der electromotorischen Kräfte unzureichend ist. Eine volle Garantie könnte in unserem Falle auf folgende Weise gegeben werden.

Sobald die Stifte einander so weit genähert sind, dass der gemeinsame Strom beider Batterien quer durch den Hammer geht und im Telephon einen scharfen Ton erzeugt, wollen wir mittelst des Commutators M die Richtung des Stromes der Batterie B′ verändern. Dann wirken die beiden Batterien nicht mehr im gleichen Sinne, sondern gegeneinander, deshalb können sie im Falle der Gleichheit der electromotorischen Kräfte keinen Strom erzeugen; in Folge dessen muss auch der Ton im Telephon fehlen. Im Falle der Ungleichheit aber wird das letztere einen Ton geben, dessen Stärke bis zu einem gewissen Grade als ein Maass der vorhandenen Ungleichheit dienen kann. Die Versuche haben gezeigt, dass in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine vollkommene Gleichheit der electromotorischen Kräfte existirt, selten aber

eine kleine Differenz beobachtet wird, welche sich durch einen kaum hörbaren Ton im Telephon äussert; sehr selten und nur während lange dauernder Versuche erscheint im Telephon ein heller Ton. Dank diesem Umstande, war es unnöthig, die Versuche durch Einführung besonderer Einrichtungen für das Ausgleichen der electromotorischen Kräfte noch complicirter zu machen, und ich glaubte das Recht zu haben, mich darauf zu beschränken, dass ich mich nur strenger zu den Resultaten derjenigen Versuche verhielt, wo die electromotorischen Kräfte eine ungleiche Grösse hatten.

Nachdem wir uns von der Gleichheit der electromotorischen Kräfte überzeugt und die Stifte auf die oben beschriebene Weise auf ein Minimum der Unterbrechungen aufgestellt haben, schieben wir die Platten des Schlüssels H wiederum nach links, in die mit ausgezogenen Linien angemerkte Lage. Auf diese Weise erhalten wir wiederum jene Anordnung der Leiter, bei welcher der in Schwingung gesetzte Hammer einen intermittirenden Strom erzeugt, dessen Stösse jetzt durch möglichst kurze, aber zweifellos vorhandene Unterbrechungen von einander getrennt sind.

Damit jedoch ist die Aufstellung des Unterbrechers noch nicht zu Ende, da wir immer noch keine Garantie haben, dass die Dauer der Contacte des Hammers mit jedem von den Stiften gleich ist, mit anderen Worten, dass die Dauer aller Stösse des intermittirenden Stromes eine gleiche Grösse besitzt.

Zur Aufklärung dessen, ob eine solche Gleichheit in der Dauer der Contacte vorhanden ist, verfahren wir auf folgende Weise. Wir dirigiren den intermittirenden Strom zum Galvanometer, zu welchem Zwecke wir die Wippe 1 nach oben hinüberwerfen. Dann setzen wir den Commutator M in eine solche Lage, bei welcher alle Stösse eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben. Da die Stromstösse verhältnissmässig rasch aufeinander folgen (beinahe 100 Stösse per Secunde), so ist der Galvanometerzeiger nicht im Stande, verschiedene, jedem einzelnen Stosse entsprechende Lagen einzunehmen, und bleibt in der Lage stehen, welche der algebraischen Summe der auf das Galvanometer wirkenden Ströme entspricht. In unserem Falle ist, wie schon früher gesagt, die Kraft der Ströme beider Batterien gleich; darum muss der Galvanometerzeiger bei der Gleichheit der Dauer einzelner Stösse auf Null stehen bleiben. Ist aber diese Dauer nicht gleich, so muss eine Ablenkung nach der Seite der Wirkung jener Batterie stattfinden, deren Stösse von längerer Dauer sind.

Bei einer solchen Prüfung beobachten wir meistentheils eine mehr oder minder bedeutende Ablenkung des Zeigers. Nehmen wir z. B. an, dass der Zeiger nach der Seite des Stromes der Batterie B′ ablenkt, so bedeutet dies, dass die Stromstösse, welche von dieser Batterie ausgehen,

dauernder sind, oder mit anderen Worten, dass der Hammer während seiner Schwingungen mit dem Stifte b′ länger in Berührung bleibt, als mit dem Stifte b. Die grössere Dauer der Berührung mit dem Stifte b′ zeigt, dass die Kräfte, welche den Hammer nach dieser Seite zu bewegen streben, über diejenigen Ueberhand nehmen, welche in der entgegengesetzten Richtung wirken. Dieses Ueberhandnehmen kann entweder davon abhängen, dass der Electromagnet E′ vom Hammer nicht so weit entfernt ist, als der Electromagnet E, oder davon, dass die Dauer der Stromstösse aus der Batterie A, welche den Electromagnet E′ durchlaufen, grösser ist, als die der Stromstösse, die den Electromagnet E magnetisiren.

Das beste Verfahren zur Beseitigung einer solchen Ungleichheit würde freilich darin bestehen, dass wir die Electromagnete in gleicher Entfernung vom Hammer aufstellen und auf ganz gleiche Zeiträume magnetisiren. Suchen wir aber unsere Aufgabe auf diese Weise zu lösen, so stossen wir auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Einerseits ist es unmöglich, die Electromagnete in einer absolut gleichen Entfernung vom Hammer aufzustellen, andererseits aber müssen wir, um die Dauer des Magnetisirens beider Electromagnete auszugleichen, auch die Dauer der Contacte des Hammers C mit den Stiften a und a′ gleich machen, mit anderen Worten dieselbe Aufgabe, die am Hammer D erfüllt werden muss, auf den Hammer C übertragen. Glücklicherweise giebt es ein anderes Verfahren, das die erforderliche Gleichheit der Dauer der Contacte vollkommen genügend erreichen lässt.

Dieses Verfahren ist darauf begründet, dass wir die vorhandene Ungleichheit der Magnetisirungsdauer der Electromagnete E und E′ durch die Veränderung ihrer Entfernungen vom Hammer zu compensiren suchen. In unserem Falle, wo die Dauer des Contactes des Hammers mit dem Stifte b′ länger ist als die mit dem Stifte b, müssen wir den Electromagnet E′ vom Hammer entfernen. In der That bemerken wir, dass bei dessen allmäligem Entfernen der abgelenkte Galvanometerzeiger nach und nach auf Null zurückkehrt, was darauf hindeutet, dass die Dauer der Contacte von beiden Seiten gleich gemacht ist.

Nun geben wir vermittelst des Commutators M allen Stössen des Stromes eine gleiche Richtung und lassen sie wiederum in das Telephon gehen. Giebt dieses einen hellen und regelmässigen Ton, so kann die Aufstellung für beendigt erklärt werden.

Da die Frage über die Aufstellung des Apparates eine grosse Bedeutung hat, will ich die oben beschriebene Reihenfolge der verschiedenen Manipulationen kurz wiederholen.

Vorerst öffnen wir den Schlüssel r und indem wir die Drähte s m und p n abwechselnd ins Quecksilbernäpfchen Q eintauchen, geben wir

den Strömen der Batterien B und B′ Zutritt zum Galvanometer, um mittelst einer entsprechenden Aufstellung des Rheochords R die von beiden Strömen erzeugten Ablenkungen des Galvanometerzeigers gleich zu machen.

Dann bringen wir den Hammer C in eine Schwingungsbewegung und beobachten dabei sorgfältig, dass der Hammer abwechselnd die beiden Stifte a und a′ berühre.

Darnach lassen wir den Hammer D schwingen, legen das Ohr an das Telephon und schieben den Stift a des Hammers C so lange hin und her, bis wir einen Ton bekommen, welcher auf eine vollkommene Regelmässigkeit der Schwingungen des Hammers hinweist.

Nachher überzeugen wir uns von der Zweiseitigkeit des Contactes, indem wir die Schlüssel h und f abwechselnd öffnen.

Dann schieben wir die Platten des Schlüssels H nach rechts, prüfen die Gleichheit der electromotorischen Kräfte der Batterien B und B′ und richten den Apparat auf das Minimum der Unterbrechungen ein.

Darnach lenken wir den Strom zum Galvanometer und gleichen die Dauer der Contacte zwischen dem Hammer und den Stiften b und b′ aus, indem wir einen der Electromagnete E oder E′ (je nachdem es gerade nöthig ist) allmälig verschieben.

Schliesslich leiten wir den Strom zum Telephon und überzeugen uns vollends von der Regelmässigkeit der Schwingungen des Hammers.

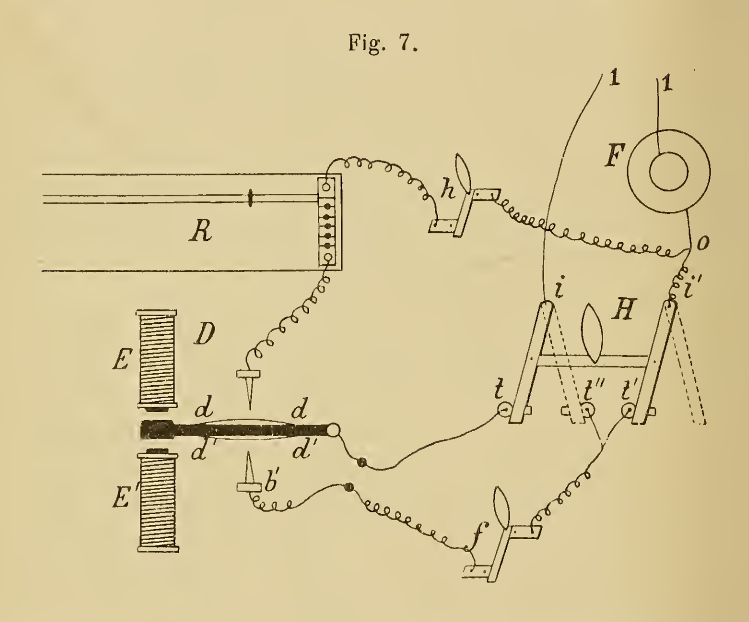
Diese letztere Prüfung beweist uns meistentheils vollkommen genügend die Regelmässigkeit in der Thätigkeit des Unterbrechers. Würden sich aber einige Fehler zeigen, so müssen wir die Aufstellung des Instruments etwas verändern, wobei wir ebenso verfahren, wie bei der ursprünglichen Aufstellung. Ueberhaupt muss ich bemerken, dass es selten nothwendig erscheint, die ursprüngliche Aufstellung des Apparates zu verbessern, besonders wenn die Stifte a, a′, b und b′ sich in ihren Schraubenmüttern dermaassen schwer bewegen, dass sie während der Schwingungen der beiden Hämmer ihre Lage nicht verändern können. Deshalb müssen die Schraubenmütter, in welchen sich die Stifte bewegen, so eingerichtet werden, dass sie mittelst besonderer Schrauben bis zum erwünschten Grade verengt werden können.

Aus allem oben Gesagten kann der Schluss gezogen werden, dass die Aufstellung des Unterbrechers sehr complicirt ist. Sie ist auch in der That complicirt, nur aber in dem Falle, wenn sie auf einem nie gebrauchten Apparate zum ersten Male ausgeführt wird. Werden aber mit dem Unterbrecher systematische Versuche angestellt, wie es bei mir der Fall war, als ich den Apparat tagtäglich benutzte, so vereinfacht sich die Aufstellung bis zum Aeussersten, so dass sie sich bloss in eine Prüfung jener Aufstellung verwandelt, welche dem Hammer am vorigen

Tage beigegeben wurde. Diese Prüfung nimmt im Ganzen nicht mehr als 5 Minuten in Anspruch.

Alles oben Gesagte betrifft die Aufstellung des Unterbrechers in jenem Falle, wenn wir zum Reizen des Nerven zwei Batterien benutzen und also die Möglichkeit haben, eine Reihe von Stromstössen bald von einer und derselben, bald von abwechselnd entgegengesetzter Richtung zu bekommen. Ist es aber erforderlich, den Nerven durch einen intermittirenden Strom mit Stössen nur von einer und derselben Richtung zu reizen, so wird es überflüssig, zwei Batterien zu gebrauchen, und wir können die Anordnung der Leiter sehr bedeutend vereinfachen. Wir können nämlich die Batterie in den nicht verzweigten Theil des Kreises

Fig. 7.



des Hammes D, z. B. auf dem Wege zwischen dem Punkte o und der Wippe 1 einführen, und die Batterien B und B' und den Commutator M einfach durch Drähte ersetzen, wie es auf der beigegebenen Fig. 7 dargestellt ist. Hier sehen wir nur (Fig. 7) jenen Theil des Kreises, welcher den Hammer D mit der Wippe 1 vereinigt, alle übrigen aber, von der Wippe 1 bis zum Nerven, sind weggelassen, da dieselben sich von den entsprechenden Theilen der Fig. 5 nicht im Mindesten unterscheiden. Es ist gar nicht nothwendig, den Gang des Stromes in diesem Falle ausführlich zu erläutern. Es genügt, zu bemerken, dass die früher beschriebene Anordnung der Leiter sich zu der gegenwärtigen ganz ebenso verhält, wie in einer vereinfachten Weise die Anordnungen der Leiter auf den Figg. 4 u. 3 (S. 16 u. 15) sich zu einander verhalten.

Die Aufstellung des Unterbrechers wird auch hier fast in allen Be-

ziehungen auf die früher beschriebene Weise ausgeführt. Auch hier werden zu allererst die Ablenkungen des Galvanometerzeigers beim Schliessen des Stromes der Batterie F von der Seite der Stifte b und b′ bestimmt und durch die entsprechende Aufstellung des Rheochords R einander gleich gemacht. Die Schwingung der Hämmer C und D wird auch jetzt nach der früher beschriebenen Methode bewirkt. Dasselbe gilt auch von der Aufstellung der Stifte b und b′ auf die Minimalgrösse der Unterbrechungen, da wir auch hier durch das Verschieben der Platten des Schlüssels H nach rechts dem Strome der Batterie F nur einen einzigen Weg lassen, und zwar von einem Stifte zu dem anderen quer durch den Hammer. Nur in Bezug auf die Ausgleichung der Contactdauer des Hammers mit den Stiften b und b′ ist ein Unterschied unvermeidlich, da wir jetzt nicht mehr im Stande sind, einzelnen Stromstössen eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung zu geben und folglich nicht vermögen, auf die früher beschriebene Weise zu verfahren. Im gegebenen Falle ist die Ausgleichung der Dauer der Contacte complicirter und kann auf folgende Weise nur annähernd erreicht werden.

Nachdem die Stifte b und b′ auf das Minimum der Unterbrechungen aufgestellt sind, schicken wir den intermittirenden Strom zum Galvanometer. Dabei geben wir durch abwechselndes Oeffnen der Schlüssel h und f den Stromstössen, die entweder von der Seite des Stiftes b oder von derjenigen des Stiftes b′ geschlossen werden, zum Galvanometer Zugang und lesen die durch den Strom in beiden Fällen hervorgerufenen Ablenkungen ab. In Folge der ungleichen Dauer der Contacte von beiden Seiten des Hammers sind auch diese Ablenkungen überhaupt ungleich. Angenommen, die von der Seite des Stiftes b′ geschlossenen Ströme bewirkten eine grössere Ablenkung, so entfernen wir in diesem Falle den Electromagnet E′ etwas vom Hammer. Lesen wir nun wiederum die Ablenkungen des Zeigers bei der Wirkung beider Ströme ab, so merken wir, dass der Unterschied zwischen denselben sich vermindert hat. Wiederholen wir dieselbe Procedur mehrere Male nach einander, so können wir endlich eine fast vollkommene Gleichheit beider Ablenkungen erreichen.

Ist die Aufstellung des Unterbrechers beendigt, so müssen wir noch einerseits die Frequenz der Stromunterbrechungen und andererseits ihre Dauer bestimmen, da diese beiden Factoren, wie es aus der Beschreibung der Aufstellung ersichtlich ist, in jedem der Fälle mehr oder minder zufällig gewählt wurden.

Zur Bestimmung der Frequenz der Unterbrechungen liess ich den Strom durch den electromagnetischen Zeitmarkirer von Deprez fliessen, der die Anzahl der Stromstösse auf der berussten Oberfläche eines rotirenden Cylinders aufschrieb; daneben wurde eine wellenförmige Linie

von einem anderen Zeitmarkirer gezogen, der einen intermittirenden Strom von einer sich 100 mal per Secunde schwingenden electromagnetischen Stimmgabel von Helmholz erhielt. Uebrigens muss ich bemerken, dass der Zeitmarkirer von Deprez beim Durchlassen unseres intermittirenden Stromes nicht eine wellenförmige, sondern eine gerade Linie zog, — mit anderen Worten, er hat sich als untauglich zur Registrirung so kurzer Stromunterbrechungen erwiesen. Deswegen wurde er immer in den verzweigten Theil des Kreises des Hammers D eingeführt und bekam Ströme, die vom Hammer nur von einer Seite geschlossen wurden (für eine solche Einführung benutzte ich gewöhnlich den einen von den Schlüsseln h oder f auf der Fig. 5; die Leiter, mittelst deren diese Einführung bewirkt wurde, sind auf der Figur nicht gezeichnet.) Es ist verständlich, dass wir auf diese Weise nur die Hälfte der ganzen Zahl der Unterbrechungen bestimmen und dass die dabei beobachtete Zahl folglich noch mit 2 multiplicirt werden muss.

Die Messungen der Unterbrechungsfrequenz wurden weitaus nicht bei allen Versuchen angestellt. Dies war auch gar nicht nöthig, da die Schwankungen der Reizfrequenz, wenigstens in den Grenzen, in welchen sie bei meinen Versuchen stattfanden, gar keinen Einfluss auf die erhaltenen Resultate ausüben konnten. Um eine annähernde Vorstellung über die Reizfrequenz, welche ich gewöhnlich benutzte, zu geben, führe ich 29 verschiedene Bestimmungen an, welche zu verschiedener Zeit und unter den verschiedenartigsten Bedingungen gemacht wurden (darunter fehlen diejenigen, welche während der weiter beschriebenen Versuche über den Einfluss der Reizfrequenz gemacht wurden). Extreme Zahlen, welche ich erhielt, sind 65 und 136 Unterbrechungen per Secunde. Sämmtliche von mir ermittelten Zahlen sind:

65, 65, 72, 72, 74, 78, 78, 82, 84, 85, 86, 88, 90, 90, 91. 92, 94, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 103, 108, 110, 112, 126, 136.

Auf Grund der angeführten Zahlen können wir sagen, dass die Reizfrequenz in meinen Versuchen gewöhnlich zwischen 70 und 100 Unterbrechungen per Secunde schwankte, eine grössere und eine geringere kam nur in ausschliesslichen Fällen vor.

Nun gehe ich zur Methode der Ausmessung der Unterbrechungsdauer über.

Mein Unterbrecher giebt einen so regelmässigen intermittirenden Strom, dass unter seinem Einfluss der Galvanometerzeiger in einer ganz bestimmten Lage stehen bleibt, ohne dabei im geringsten auf eine oder auf die andere Seite zu schwanken. In Folge dessen ist es möglich geworden, die Ablenkung des Zeigers unter dem Einflusse des intermittirenden Stromes auf eine ganz ähnliche Weise zu messen, wie auch die-

jenige unter dem Einflusse des constanten. Diesen Umstand benutzte ich nämlich zur Bestimmung der Dauer der Unterbrechungen. Das Princip einer solchen Bestimmung besteht in Folgendem:

Nehmen wir Folgendes als gegeben an:

1. Die Ablenkung, welche von dem Strome hervorgerufen wird, falls er auf den Galvanometerzeiger ununterbrochen wirkt — α;

2. die Ablenkung, welche derselbe Strom, wenn er intermittirend wirkt, erzeugt — β, und endlich

3. die Frequenz der Stromunterbrechungen — F.

Die Dauer der Unterbrechungen lässt sich aus diesen Grössen durch eine einfache Berechnung ermitteln.

Bezeichnen wir die gesuchte Dauer der Stromunterbrechungen durch x, so können wir sagen, dass unser Strom Fmal per Secunde und jedesmal auf die Zeit x geöffnet wird und folglich durch das Galvanometer nicht während einer ganzen Secunde fliesst, wie ein constanter Strom, sondern während einer Secunde, von der die ganze Zeit substrahirt werden muss, welche auf die Unterbrechungen verwandt wurde, d. h. binnen einer Zeit, welche $1-xF$ gleicht.

Der Sinus des Ablenkungswinkels des Galvanometers (diese Winkel bestimmte ich immer nach der Sinusmethode) zeigt, wie bekannt, das Electricitätsquantum an, welches das Galvanometer binnen einer Secunde durchläuft. Da in unserem Falle auf das Galvanometer derselbe Strom bald als ein constanter, bald als ein intermittirender wirkt, so ist es deshalb klar, dass das Electricitätsquantum in beiden Fällen derjenigen Zeit proportionell sein muss, binnen welcher beide Ströme durch das Galvanometer fliessen, d. h.:

$$\frac{\text{Sin. } \beta}{\text{Sin. } \alpha} = \frac{1-xF}{1}$$

Daraus bekommen wir für x folgende Grösse:

$$x = \frac{\text{Sin. } \alpha - \text{Sin. } \beta}{F \text{ Sin. } \alpha}$$

und für die Dauer jedes Stosses p:

$$p = \frac{\text{Sin. } \beta}{F \text{ Sin. } \alpha}$$

Auf diese Weise lässt sich die Bestimmung der Dauer der Stösse und der Unterbrechungen auf die experimentelle Ermittelung der Grössen α, β und F zurückführen.

Auf Grund der gegebenen Beschreibung der Versuchsanordnung kann man sich leicht überzeugen, dass die Bestimmung sämmtlicher genannten Grössen keine besonderen Schwierigkeiten vorstellt. Den Winkel α können wir bestimmen, indem wir durch das Galvanometer einen constanten Strom aus einer der Batterien B oder B′ (es ist ganz gleich-

gültig, welcher Batterie dieser Strom angehört, da die Ablenkungen des Zeigers, die jeder Strom vereinzelt hervorruft, vorläufig ganz ausgeglichen werden müssen) durchlaufen lassen. Der Winkel β, sowie die Grösse F kann nach der endgültigen Aufstellung des Unterbrechers gefunden werden. Auf dass wir der Genauigkeit der erlangten Resultate sicher seien, müssen wir nach dem Auffinden des Winkels β wiederum den Winkel α bestimmen und dabei nur auf diejenigen Bestimmungen einen Werth legen, in welchen die Grössen für den Winkel α sich in beiden Fällen als vollkommen gleich erwiesen.

In Folge des eigenthümlichen Charakters der Erscheinungen, welche bei der Wirkung des intermittirenden Stromes auf den Nerven beobachtet werden, konnte die Bestimmung der Unterbrechungsdauer in jedem Versuche keine wesentliche Bedeutung haben, jedoch würde sie die Ausführung der Versuche selbst bedeutend erschweren. Deshalb machte ich diese Bestimmungen nur selten und bloss in der Absicht, um einen annähernden Begriff von der Dauer zu geben, welche die Unterbrechungen bei der Aufstellung unseres Apparates auf das Unterbrechungsminimum besassen. In der nebenstehenden Tabelle führe ich die Resultate meiner Bestimmungen an.

(Vergl. die Tabelle auf S. 37.)

Wir ersehen aus dieser Tabelle, dass, obgleich die minimale Dauer der Unterbrechungen keine bestimmte Grösse darbot, sie sich doch bei verschiedenen Versuchen in ziemlich engen Grenzen veränderte. Wenn wir diejenigen Bestimmungen berücksichtigen, welche bei der in meinen Versuchen gewöhnlichen Frequenz der Unterbrechungen (von 70 bis 100 per Secunde) gemacht sind, so können wir sagen, dass die Unterbrechungsdauer zwischen 0,0004″ und 0,0008″ schwankte, d. h. dass die grösste Dauer der einzelnen Unterbrechungen nur doppelt so gross war, als die kleinste.

Bemerken wir noch folgende Eigenthümlichkeiten, welche unmittelbar aus der Betrachtung der in der Tabelle angeführten Zahlen folgen. Wir sehen, dass bei einer mittleren Reizfrequenz 60—100 nicht nur die absolute Dauer der Unterbrechungen, sondern auch das Verhältniss zwischen derselben und der Dauer der Stromstösse ihren minimalen Werth erreichen, während man bei der Aufstellung des Unterbrechers auf einer grösseren oder geringeren Frequenz der Uuterbrechungen eine bedeutende Vergrösserung desselben beobachtet. Ich hebe diese Eigenthümlichkeiten deshalb hervor, weil wir dieselben später zur Erklärung gewisser Thatsachen benutzen werden.

Die Ablenkung des Galvanometerzeigers unter dem Einflusse des constanten Stromes α.	Die Ablenkung des Galvanometerzeigers unter dem Einflusse des intermittirenden Stromes β.	Die Frequenz der Unterbrechungen. F.	Die berechnete Dauer jedes Stosses.	Die berechnete Dauer jeder Unterbrechung	Das annähernde Verhältniss der Dauer der Unterbrechungen zu derjenigen der Stösse.
43°	36° 30′	46	0,01896	0,00278	1 : 7
46°	40° 30′	51	0,01770	0,00190	1 : 9
42°	39°	58	0,01621	0,00103	1 : 16
43° 30′	41° 30′	65	0,01481	0,00057	1 : 26
44° 30′	42°	65	0,01469	0,00069	1 : 21
43° 15′	41°	72	0,01330	0,00059	1 : 22
45° 45′	43° 45′	85	0,01135	0,00040	1 : 28
42° 30′	40° 30′	94	0,01023	0,00041	1 : 25
45°	40° 45′	94	0,00982	0,00082	1 : 12
43° 45′	41°	96	0,00988	0,00053	1 : 19
44°	40° 45′	98	0,00959	0,00061	1 : 15
41° 30′	38° 45′	99	0,00954	0,00056	1 : 17
42° 45′	39°	100	0,00927	0,00073	1 : 13
44° 30′	40° 15′	103	0,00894	0,00076	1 : 12
43°	37°	126	0,00700	0,00093	1 : 8

II. Die Methoden zur Veränderung verschiedener, den Charakter des intermittirenden Stromes bestimmender Factoren.

Die Hauptversuche wurden bei der oben beschriebenen Aufstellung des Unterbrechers auf das Minimum der Unterbrechungen gemacht. Dennoch war es zur Erläuterung der erhaltenen Thatsachen öfters nothwendig, den Charakter des intermittirenden Stromes auf verschiedene Art zu verändern. Im vorliegenden Theile dieses Capitels werde ich jene Verfahren beschreiben, mittelst deren solche Veränderungen zu erreichen sind.

a) Die Veränderung der Dauer der Stromunterbrechungen konnte in unserem Falle augenscheinlich nur in ihrer Verlängerung bestehen. Dazu verfuhr ich auf zweierlei Methoden.

Bei der ersteren Methode wurde die Vergrösserung der Unterbrechungen sehr einfach durch die Entfernung eines der Stifte b oder b′ vom Hammer D erreicht. Da hierdurch die Gleichheit der Dauer

der Contacte des Hammers mit beiden Stiften gestört werden konnte, so wurde die Aufstellung des Apparates auf die früher beschriebene Weise geprüft, nöthigenfalls auch verbessert.

Wird die Grösse der Unterbrechungen verändert, so müssen wir, streng gesagt, jedesmal ihre neue Dauer messen. Dennoch habe ich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle solche Messungen nicht angestellt. Ich hielt mich für berechtigt, auf eine solche Weise zu verfahren, weil die Erscheinungen, die ich bei der Wirkung des intermittirenden Stromes beobachtet habe, sich unter dem Einflusse der verschiedenartigsten Bedingungen in so hohem Grade verändern, dass es keineswegs möglich ist, die Abhängigkeit zwischen ihnen und der Dauer der Unterbrechungen durch Zahlen auszudrücken. Deshalb verliert die quantitative Vergleichung der Resultate der zu verschiedener Zeit und mit verschiedenen Präparaten angestellten Versuche jeden Werth, und ich war genöthigt, nur die Erscheinungen zu vergleichen, welche an einem und demselben Nerven bei gleichen übrigen Bedingungen beobachtet werden. Hier aber war es für mich nicht so wichtig, die absolute Dauer der Unterbrechungen zu kennen, als überzeugt zu sein, dass in dem einen von den zu vergleichenden Fällen diese Dauer grösser ist als im anderen.

Die Messung der vergrösserten Unterbrechungen machte ich nur bei einer verhältnissmässig ziemlich bestimmten Aufstellung des Unterbrechers. Es erwies sich aus meinen Versuchen, dass gewisse Erscheinungen nicht bei minimaler, sondern bei einer etwas längeren Unterbrechungsdauer besonders plastisch hervortreten. Um einen solchen intermittirenden Strom zu erhalten, war es am bequemsten, den Unterbrecher vorläufig auf das Minimum der Unterbrechungen aufzustellen und nachher einen von den Stiften auf eine oder zwei Theilungen des Kreises zu rücken und dadurch vom Hammer zu entfernen (siehe die Zeichnung des Apparates auf Tafel I). Da die Versuche mit einer solchen Grösse der Unterbrechungen verhältnissmässig oft gemacht wurden, so will ich weiter überall, wo von solchen Unterbrechungen die Rede sein wird, sie zum Unterschied von den minimalen als kurze bezeichnen. Um die absolute Grösse der kurzen Unterbrechungen, wenn auch nur annähernd, zu charakterisiren, habe ich zu verschiedener Zeit und unter verschiedenen Bedingungen einige Bestimmungen dieser Grösse gemacht, deren Resultate in der nachfolgenden Tabelle dargestellt sind.

(Vergl. die Tabelle auf S. 39.)

Wir sehen, dass die Schwankungen der Dauer der Unterbrechungen nicht besonders bedeutend sind: diese Grösse schwankt in den angeführten Bestimmungen etwa nur zwischen 0,001 und 0,002 der Se-

cunde. Das Verhältniss zwischen der Dauer der Unterbrechungen und der Stösse verändert sich in den Grenzen von $^1/_5$ und $^1/_9$.

Die Ablenkung des Galvanometerzeigers unter dem Einflusse des constanten Stromes α.	des intermittirenden Stromes β.	Die Frequenz der Unterbrechungen F.	Die berechnete Dauer jedes Stosses.	jeder Strom-Unterbrechung.	Das annähernde Verhältniss zwischen der Dauer der Unterbrechungen und der Stromstösse.
45°45′	38°	78	0,0111	0,0018	1 : 6
41°30′	36°30′	82	0,0109	0,0012	1 : 9
45°	36°15′	84	0,0100	0,0019	1 : 5
42°45′	36°	90	0,0096	0,0015	1 : 6
43°15′	37°30′	91	0,0097	0,0012	1 : 8
43°	36°45′	92	0.0095	0,0013	1 : 7
44°45′	39°	97	0,0092	0,0011	1 : 8

Das beschriebene Verfahren ist eigentlich für die ausführlichste Untersuchung des Einflusses der Grösse der Unterbrechungen auf die Reizungseffecte vollkommen ausreichend. Die einzige Ungelegenheit besteht darin, dass die Vergrösserung der Unterbrechungen, sowie auch ihre Herabsetzung bis zur früheren minimalen Grösse jedesmal eine mehr oder minder geraume Zeit in Anspruch nimmt, wodurch die Einregistrirung der Erscheinungen nach der graphischen Methode auf bedeutende Schwierigkeiten stösst. Ich habe darum eine andere Methode erfunden, die freilich eine umständliche vorläufige Aufstellung des Apparates erforderte, aber gleichzeitig gestattete, die Dauer der Unterbrechungen leicht und bequem nach beiden Seiten und mehrere Male nach einander zu verändern. Auf diese Weise verfuhr ich bei allen Versuchen, deren Resultate ich einregistriren wollte.

Die Vergrösserung und die Verkürzung der Unterbrechungsdauer wurde nach diesem Verfahren durch das einfache Hin- und Herbewegen eines von den Stiften, z. B. des Stiftes b, ohne jede weitere Prüfung oder Verbesserung der Aufstellung des Hammers ausgeführt. Um aber die Möglichkeit zu haben, ein solches Verfahren zu gebrauchen, war eine besondere vorläufige Aufstellung des Unterbrechers nothwendig, die uns Bürgschaft dafür leisten würde, dass bei der Verschiebung des Stiftes sich nur die Dauer der Unterbrechungen veränderte, während alle übrigen Bedingungen unverändert blieben.

Die Entfernung des einen der Stifte vom Hammer kann, ausser der Verlängerung der Unterbrechungen, noch folgende zwei Veränderungen herbeiführen: es kann erstens die Regelmässigkeit der Schwingungen des Hammers, zweitens die Gleichheit der Dauer des Contactes mit beiden Stiften gestört werden. Dass solche Veränderungen in der Wirkung des Unterbrechers in der That stattfinden, wenigstens bei einer gewissen Grösse der Verschiebung des Stiftes, davon können wir uns leicht überzeugen, wenn wir die uns schon bekannten Mittel, die Regelmässigkeit der Aufstellung des Hammers zu prüfen, anwenden. Die beiden angezeigten Quellen der Veränderung des Charakters des intermittirenden Stromes müssen beseitigt werden, wenn wir eine einfache Verschiebung des Stiftes als Mittel zur Vergrösserung und Verkürzung der Dauer der Unterbrechungen benutzen wollen.

Am leichtesten lässt sich die Sicherheit erreichen, dass die Schwingungen des Hammers ihre Regelmässigkeit behalten. Dabei verfuhr ich auf folgende Weise: indem ich auf den Ton des intermittirenden Stromes mit minimalen Unterbrechungen im Telephon hörte, bewegte ich einen von den Stiften hin und her und bestimmte jene Grenzen, innerhalb welcher eine solche Bewegung keine Veränderung im Charakter des erschallenden Tones erzeugt. Nachdem die Stellen des Kreises, welche den beiden Grenzstellungen des mit dem Stifte verbundenen Zeigers entsprechen, angemerkt waren, schraubte ich an dieselben zwei besondere Zwingen an, die über die Oberfläche des Kreises hervortraten und dem Zeiger und folglich auch dem Stifte sich nur zwischen diesen Grenzen zu bewegen gestatteten. Somit ist es möglich geworden durch die Drehung des Stiftes bis zur Berührung des Zeigers mit der einen oder mit der anderen Zwinge, eine rasche Veränderung der Dauer der Unterbrechungen zu bewirken, ohne dabei fürchten zu müssen, dass die Regelmässigkeit der Schwingungen des Hammers gestört werde.

In Bezug auf die Veränderungen der Contactdauer muss ich bemerken, dass dieselben bei jeder einseitigen Verschiebung der Stifte unvermeidlich sind: jedes Entfernen des Stiftes führt zur Verkürzung und jedes Annähern desselben zur Verlängerung der Contacte des Hammers mit dem verschobenen Stifte. In Folge dessen ist es ganz unmöglich, die Gleichheit der Berührungsdauer des Hammers mit den beiden Stiften, bei der Verschiebung eines von ihnen, intact zu behalten, und dadurch muss immer ein Strom entstehen, dessen einzelne Stösse abwechselnd eine ungleiche Dauer besitzen. Jedoch kann auch diese Schwierigkeit leicht beseitigt werden.

Zu dem Zwecke müssen wir nur in den Versuchen eine solche ursprüngliche Aufstellung des Unterbrechers benutzen, bei welcher die Dauer des Contactes des Hammers mit den Stiften b und b′ schon von Anfang an

eine ungleiche Grösse besitzt[1]), d. h. wir müssen den Nerven mit intermittirendem Strome reizen, dessen einzelne Stösse abwechselnd verschiedene Dauer haben.

Dann besteht die ganze Aufgabe darin, die vorhandene Ungleichheit der Stossdauer unverändert zu lassen trotz der Verlängerung der Dauer der Unterbrechungen. Diese Aufgabe lässt sich aber leicht ausführen, wenigstens annähernd.

In den Verschiebungen der Electromagnete E und E′ besitzen wir ein Mittel, das uns gestattet, wie es schon früher (S. 30) beschrieben ist, die Dauer des Contactes des Hammers mit beiden Stiften nach Willkür zu verändern und somit einen intermittirenden Strom mit abwechselnd ungleicher Dauer einzelner Stösse zu erhalten. Wenn wir den Strom dem Galvanometer zuführen und ihm dabei einen solchen Charakter geben (durch das Umlegen des Commutators M), dass seine Stösse abwechselnd entgegengesetzte Richtung behalten, so haben wir die Möglichkeit, nach der Ablenkung des Galvanometerzeigers zu urtheilen, auf welcher Seite die Dauer des Contactes länger ist und welche Grösse dieses Ueberhandnehmen erreicht. Diesen Umstand benutzend, stellen wir, nachdem die Bewegungsgrenzen des Stiftes auf die oben beschriebene Weise bestimmt worden sind, die Electromagnete E und E′ derart auf, dass die Dauer des Contactes des Hammers mit dem Stifte bei dem äussersten Annähern desselben etwas grösser und beim äussersten Entfernen etwas geringer sei, als die Dauer des Contactes mit dem anderen Stifte, mit anderen Worten: wir stellen die Elelectromagnete so auf, dass der intermittirende Strom den Galvanometerzeiger bei extremen Lagen des Stiftes nach entgegengesetzten Richtungen ablenke. Dabei müssen wir unser Bestreben darauf richten, dass die in beiden Fällen entstandenen Ablenkungswinkel eine gleiche Grösse besitzen. Die Versuche haben gezeigt, dass eine annähernde Gleichheit beider Ablenkungswinkel immer erreicht werden kann, wenn auch nicht auf einmal, so doch nach mehreren Verschiebungen eines von den Electromagneten.

Auf diese Weise entstehen bei zwei extremen Stellungen des Stiftes intermittirende Ströme, welche beide aus einer Reihe von Stössen mit abwechselnd ungleicher Dauer bestehen und sich nur dadurch von ein-

---

[1]) Wir können es um so mehr zulassen, da auf Grund der Versuche eine vollkommene Gleichheit einzelner Stösse des intermittirenden Stromes keineswegs nothwendig ist, um die Erscheinungen in einer reinen Form zu erhalten. Wenigstens in meinen Versuchen hatte ich es oft in Folge zufälliger Störungen in der Aufstellung des Unterbrechers mit einem intermittirenden Strome zu thun, dessen einzelne Stösse einen ganz bedeutenden Unterschied in ihrer Dauer darstellten, ohne dass ich dabei irgend welchen Einfluss dieser Bedingung auf die beobachteten Erscheinungen bemerkt hätte.

ander unterscheiden, dass diejenigen Stösse längere Dauer haben, welche einmal durch Stromschluss von der Seite des einen, und das andere Mal von der Seite des anderen Stiftes her entstehen. Da ich bei Reizversuchen im gegebenen Falle nur solche Ströme benutzte, deren Stösse immer die gleiche Richtung besassen, so blieb der Ueberschuss der Dauer jener oder dieser Stösse für mich ganz gleichgiltig, und ich hatte vollkommen Recht, die beschriebene Aufstellung als eine solche zu betrachten, bei welcher die Verlängerung und die Verkürzung der Unterbrechungen sich ohne jede Veränderung der verhältnissmässigen Dauer aufeinander folgender Stromstösse vollzog.

Das beschriebene Verfahren, die Grösse der Unterbrechungen zu verändern, wurde hauptsächlich dazu bestimmt, wie ich schon früher bemerkt habe, die beobachteten Erscheinungen graphisch aufzuzeichnen. Da ich womöglich scharf ausgedrückte Effecte zu erreichen wünschte, so bemühte ich mich deshalb, in jedem einzelnen Falle die Dauer der Unterbrechungen in möglichst weiten Grenzen zu verändern (die Drehung des Stiftes betrug 3—10, sogar 15 Theilungen des Kreises). Obwohl ich keine Messungen dieser lange dauernden Unterbrechungen (wie ich dieselben weiter nennen werde) ähnlich den oben für die minimalen und die kurzen angeführten, gemacht habe, gab ich doch von Zeit zu Zeit einzelnen Stromstössen die gleiche Richtung und bestimmte die durch dieselben hervorgerufene Ablenkung des Galvanometers. Die Vergleichung dieser Ablenkung mit der durch den constanten Strom erlaubte uns, eine Vorstellung zu gewinnen, wenn auch nicht über die absolute Dauer der Unterbrechungen (wozu man noch die Frequenz der Schwingungen des Hammers wissen muss), so doch jedenfalls über das Verhältniss zwischen der Dauer der Unterbrechungen und der Stösse. Ohne hier einzelne Zahlen anzuführen, will ich mich begnügen, nur zu sagen, dass dieses Verhältniss in verschiedenen Versuchen zwischen $^1/_6$ und $^1/_2$ schwankte, so dass selbst bei den längsten Unterbrechungen ihre Dauer doch doppelt so klein war, als die der Stösse. Uebrigens habe ich diese maximale Unterbrechungsdauer nur einmal in meinen Beobachtungen getroffen, meistentheils aber bekam ich kleinere Zahlen.

Fassen wir Alles zusammen, was von den Methoden, die Unterbrechungen zu verlängern, gesagt wurde, so sehen wir, dass es möglich ist, je nach der Grösse der Unterbrechungen drei Gattungen des intermittirenden Stromes — wenn auch in einer nur äusserst groben Form — zu unterscheiden:

1. Der intermittirende Strom mit minimalen Unterbrechungen (das Verhältniss der Dauer der Unterbrechung zu derjenigen des Stosses: $^1/_{28}$—$^1/_{12}$).

2. Der intermittirende Strom mit kurzen Unterbrechungen ($^1/_9$—$^1/_5$).

3. Der intermittirende Strom mit lange dauernden Unterbrechungen ($^1/_6$—$^1/_2$).

Diese Classification erscheint freilich als eine höchst unvollkommene, da sie auf den Eigenthümlichkeiten der Aufstellung des Unterbrechers, nicht aber auf der Messung in jedem einzelnen Falle der absoluten Grösse der Unterbrechungen begründet ist; jedoch reichte sie vollkommen für unsere Zwecke aus, da wir hauptsächlich nicht die quantitative, sondern die qualitative Seite der Erscheinungen zu untersuchen hatten.

b) Die Veränderung der Frequenz der Stromunterbrechungen wurde bei meinen Untersuchungen auf drei verschiedene Weisen bewirkt.

1. Mein Unterbrecher gestattet die Reizfrequenz auf ganz dieselbe Weise zu verändern, wie auch der gewöhnliche Hammer von Halske. Stellen wir den Hammer C entsprechend der erforderlichen Frequenz der Schwingungen auf, so können wir dieselbe Frequenz auch dem Hammer D verleihen, wobei die übrigen Einzelheiten der Aufstellung unverändert bleiben. Auf solche Weise war ich im Stande, 46 bis 140 Unterbrechungen in der Secunde zu bekommen.

Jedoch ist ein solches Verfahren für vergleichende Versuche unbequem, da es dabei erforderlich ist, die Reizfrequenz möglichst schnell, und zwar mehrere Male nacheinander in dieser oder jener Richtung zu verändern.

Ausserdem ist dasselbe noch in folgender Beziehung ungelegen.

Es ist offenbar unmöglich, die Frequenz der Unterbrechungen zu verändern, ohne dabei auf die übrigen Bedingungen der Reizung einzuwirken. „Die Frequenz der Unterbrechungen“ ist keine einfache Eigenschaft des intermittirenden Stromes, dessen Charakter eigentlich bloss durch zwei Factoren bestimmt wird, und zwar durch die Dauer der Unterbrechungen und die — der Stösse: diese beiden bestimmen ihrerseits die Frequenz der Unterbrechungen. In Folge dessen ist es unmöglich, die letztere selbstständig zu verändern: sie kann nur auf Kosten entweder der Dauer der Stösse oder der Dauer der Unterbrechungen vergrössert und verkleinert werden. Bei dem beschriebenen Verfahren entstehen Veränderungen der beiden Factoren, und zwar solche, die in jedem einzelnen Falle ohne sehr umständliche Messungen der Frequenz und der Dauer der Unterbrechungen nicht zu verfolgen sind. Deshalb können die nach dieser Methode angestellten Versuche nur eine sehr beschränkte Bedeutung haben.

2. Die Veränderung der Reizfrequenz nach dem zweiten Verfahren wurde ausschliesslich auf Kosten der Dauer der Unterbrechungen erreicht,

während die Dauer der Stromstösse stets die nämliche Grösse behielt. Um dieses Verfahren anzuwenden, können wir die oben beschriebene Anordnung der Leiter benutzen, ohne irgend welche neue Veränderungen einzuführen.

In der That bildet sich der intermittirende Strom, den unser Unterbrecher giebt, aus einzelnen Stössen, die der Hammer bei der abwechselnden Berührung bald mit dem Stifte b, bald mit dem Stifte b′ schliesst. Bezeichnen wir die Stösse der Reihe nach durch die Ziffern 1, 2, 3, 4, 5 etc., so können wir sagen, dass alle ungeraden Stösse (1., 3., 5. u. s. w.) in den Momenten der Berührung des Hammers mit dem einen und alle geraden (2., 4., 6. u. s. w.) in den Momenten des Contactes mit dem anderen Stifte entstehen. Die Wege, auf welchen beiderlei Stösse den Nerven erreichen, sind theilweise verschieden (s. Fig. 5 auf S. 21), wobei uns das Oeffnen des einen von den Schlüsseln f und h ein Mittel darbietet, bald die geraden, bald die ungeraden Stösse vom Nerven fernzuhalten.

Wir können also, indem wir einen von den genannten Schlüsseln öffnen, in jedem beliebigen Momente die Reizfrequenz zur Hälfte verkleinern, während die Dauer der Stösse constant bleibt (natürlich setzen wir dabei voraus, dass die geraden und ungeraden Stösse eine gleiche Dauer haben). Mit anderen Worten wird die Veränderung der Reizfrequenz in unserem Falle durch das abwechselnde Ausfallen einzelner Stösse und das dadurch bedingte paarige Zusammenfliessen der Unterbrechungen bewirkt.

3. Die Veränderung der Reizfrequenz nach der dritten Methode wurde ausschliesslich auf Kosten der Dauer der Stromstösse bewirkt, die Dauer der Unterbrechungen blieb aber dabei unverändert.

In diesem Falle musste ich die von mir gewöhnlich gebrauchte Methode, den intermittirenden Strom zu erhalten, schon sehr bedeutend verändern. Ich benutzte nämlich zu diesem Zwecke den im Anfang dieses Capitels (S. 19) beschriebenen Nebenapparat, welcher aus den Quecksilbernäpfchen V und V′ besteht. Diese Näpfchen wurden zu beiden Seiten des Hammers aufgestellt und konnten bei einer passenden Aufstellung ganz dieselbe Rolle spielen, wie die Stifte b und b′, wobei die den Strom schliessenden Contacte sich zwischen den an den Hammer angelötheten Platinspitzen p und p′ und dem Quecksilber der Näpfchen ereigneten. Auf diese Weise konnte ich eigentlich die Quecksilbernäpfchen in allen meinen Versuchen zur Erhaltung des intermittirenden Stromes benutzen. Nichtsdestoweniger zog ich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Anwendung der Stifte b und b′ vor, da die vorläufigen Versuche gezeigt haben, dass die Regelmässigkeit der Stromunterbrechungen bei der Anwendung der Quecksilbernäpfchen viel zu

wünschen lässt. Dies hängt wahrscheinlich von den schon für das blosse Auge bemerkbaren Schwingungen der Quecksilberoberfläche ab, welche durch das beständige Hinein- und Heraustauchen der Spitzen p und p' hervorgerufen werden. In Folge dieser Schwingungen ist es unmöglich, eine streng einförmige Dauer der Unterbrechungen zu erreichen. Deswegen benutzte ich die Näpfchen V und V' nur bei Versuchen, bei denen ich die Reizfrequenz rasch verändern wollte, ohne die Dauer der Unterbrechungen zu stören. Freilich war auch bei diesen Versuchen die Ungleichmässigkeit der Unterbrechungsdauer nicht wünschenswerth und konnte das Erreichen reiner Resultate bedeutend erschweren. Jedoch musste ich mich nothwendiger Weise mit derselben aussöhnen, da mir keine andere Methode zur Verfügung stand, um einen intermittirenden Strom mit den erforderlichen Eigenschaften zu erhalten.

Bei der Anwendung der Quecksilbernäpfchen mussten wir die auf der Fig. 7 (S. 32) abgebildete Anordnung der Leiter benutzen, d. h. anstatt zweier Batterien nur eine, und zwar in den nicht verzweigten Theil des Stromkreises einführen. In allen übrigen Hinsichten blieb die Anordnung der Leiter unverändert, nur wurden die früher mit den Stiften b und b' verbundenen Drähte jetzt mit den Quecksilbernäpfchen verbunden. Um keine neue Zeichnung zu geben, stellen wir uns vor, dass die letzteren sich jetzt an den Stellen der Stifte b und b' befinden (das Näpfchen V an der Stelle des Stiftes b und das Näpfchen V' an der Stelle des Stiftes b').

Die Aufstellung des Apparates wurde auf folgende Weise ausgeführt:

Stellen wir uns vor, der Hammer sei in Schwung gebracht, die Quecksilbernäpfchen bei Seite geschoben und den Wippen 1 und 2 eine solche Lage gegeben, bei welcher der intermittirende Strom durch das Telephon fliessen muss. Wir fangen mittelst der mikrometrischen Schraube Q an, das Näpfchen V dem Hammer zu nähern. Kaum ist dasselbe so weit genähert, dass die Spitze p das Quecksilber berührt, so entsteht ein intermittirender Strom, dessen Stösse bei weiterer Annäherung des Näpfchens immer länger und dessen Unterbrechungen immer kürzer werden. Nähern wir nun das Näpfchen noch mehr, bis die Dauer der Unterbrechungen eine minimale Grösse erreicht. Dieser Moment kann leicht mittelst des Telephons bestimmt werden, da der Ton bei einer grösseren Annäherung des Näpfchens verschwindet und nur bei der Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung wiederum erscheint. Das Verschwinden des Tones weist darauf hin, dass der intermittirende Strom sich in einen constanten verwandelt hat, d. h. dass die Spitze p während der Schwingungen des Hammers nicht mehr aus dem Quecksilber des Näpfchens hervorkommt, sondern beständig darin eingetaucht bleibt.

Würde sich der Contact zwischen der Spitze und dem Quecksilber immer ganz regelmässig vollziehen, so müssten wir beim Annähern und beim Entfernen des Näpfchens vom Hammer einen augenblicklichen Uebergang vom hellen Ton zur Stille und umgekehrt erhalten. In Wirklichkeit aber findet ein solcher Uebergang nicht statt, sondern es erschallt zwischen dem hellen Ton und der Stille ein Ton von unregelmässigem Charakter, welcher als Beweis dient, dass es bei gewissen Schwingungen des Hammers Unterbrechungen giebt, bei anderen aber nicht. Das Näpfchen wird so aufgestellt, dass wir einen regelmässigen Ton erhalten, der aber schon bei der geringsten Annäherung des Näpfchens unregelmässig wird, mit anderen Worten: das Quecksilbernäpfchen wird entsprechend einer minimalen, bei einer solchen Methode erreichbaren Dauer der Unterbrechungen aufgestellt.

Nachdem wir das Näpfchen V auf die beschriebene Weise aufgestellt haben, wiederholen wir dieselbe Procedur mit dem Näpfchen V′, d. h. wir geben auch ihm eine solche Lage, bei welcher der Contact des Hammers mit dem Quecksilber ein möglichst dauernder ist und die Unterbrechungen eine möglichst kurze Dauer besitzen. Für eine solche Aufstellung müssen wir freilich den Kreis des Näpfchens V vorher (mittelst des Schlüssels h) öffnen, so dass in das Telephon nur der Strom geräth, welcher ausschliesslich von der Seite des Näpfchens V′ geschlossen wird.

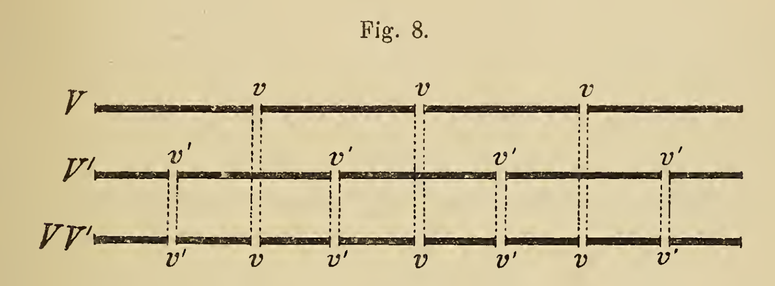
Aus der angeführten Beschreibung ist es ersichtlich, worin der Unterschied zwischen der früher beschriebenen Aufstellung der Stifte b und b′ und der Aufstellung der Näpfchen in unserem Falle besteht: dort brachten wir die Stifte in eine solche Lage, dass bei einem zweiseitigen Contacte des Hammers abwechselnd mit beiden Stiften die Dauer der Unterbrechungen eine minimale Grösse hatte; hier aber suchen wir denselben Effect bei einem einseitigen Contacte des Hammers mit jedem der Näpfchen zu erreichen.

Ist nun beiden Näpfchen die passende Lage gegeben, so muss man die Aufstellung für beendigt halten, da sie jetzt schon gestattet, von einer Reizfrequenz zu einer anderen doppelt so grossen überzugehen, ohne die Dauer der Unterbrechungen zu verändern. Zu diesem Zwecke müssen wir den Nerven mit einem intermittirenden Strome reizen, welcher einmal von Seiten eines der Quecksilbernäpfchen bei gewöhnlicher Anordnung der Leiter und das andere Mal von Seiten beider Näpfchen zugleich geschlossen wird, wobei im letzteren Falle die Platten des Schlüssels H nach rechts geschoben sind. Um das Gesagte vollkommen klar zu machen, wollen wir den Charakter des intermittirenden Stromes in beiden Fällen graphisch darstellen.

Setzen wir erstens voraus, dass zum Nerven ein Strom geleitet wird, welcher nur von der Seite des Näpfchens V geschlossen ist, d. h.

dass die Platten des Schlüssels H nach links geschoben sind (sich in der durch ausgezogene Linien dargestellten Lage befinden), der Schlüssel h geschlossen und der Schlüssel f geöffnet ist. Dabei erhält der Nerv einen intermittirenden Strom, dessen Unterbrechungen eine Frequenz haben, welche durch die Frequenz der Contacte des Hammers mit dem Näpfchen V bestimmt wird. Dieser Strom ist auf der beigegebenen Fig. 8 schematisch durch eine sich unterbrechende Linie V dargestellt, auf der einzelne Strecken der Linie die Dauer der Periode bezeichnen, während deren der Strom geschlossen ist, d. h. während deren die Spitze p sich im Quecksilber befindet; die Zwischenräume v bezeichnen die Dauer der Unterbrechungen.

Fig. 8.



Nun stellen wir uns vor, dass wir zum Nerven einen Strom zulassen, welcher von der Seite des Näpfchens V' geschlossen wird. Dazu öffnen wir den Schlüssel h und schliessen den Schlüssel f. Die unterbrochene Linie V' auf der Figur bezeichnet den jetzt entstehenden intermittirenden Strom Da wir voraussetzen, dass beide Quecksilbernäpfchen ganz gleich aufgestellt sind, so ist die Linie V' in jeder Beziehung als eine mit der Linie V identische dargestellt. Der einzige Unterschied zwischen ihnen besteht darin, dass die Perioden der Unterbrechungen der Linie V' gerade auf die Mitte der Schliessungsperioden der Linie V fallen, da in denjenigen Momenten, wo der schwingende Hammer dem Näpfchen V am nächsten ist und wo wir es folglich mit der Mitte der Schliessungsperiode von dieser Seite zu thun haben, auf der anderen Seite eine möglichst weite Entfernung des Hammers vom Quecksilbernäpfchen V', d. h. die Oeffnungsperiode stattfinden muss.

Stellen wir uns jetzt vor, dass wir die Platten des Schlüssels H nach rechts verschieben, d. h. ihn in die auf der Fig. 7 durch punktirte Linien bezeichte Lage versetzen, und beide Schlüssel h und f schliessen. Dabei kann der Strom nur quer durch den Hammer aus einem Quecksilbernäpfchen in das andere durchgehen, ganz auf dieselbe Weise, wie er früher unter denselben Bedingungen durch den Hammer aus einem Stifte in den anderen übergehen konnte. Es ist leicht zu verstehen,

dass ein solches Durchgehen des Stromes nur während derjenigen Momente möglich ist, wo beide Platinspitzen p und p′ gleichzeitig in beide Näpfchen eingetaucht sind, nur dann sind beide Näpfchen miteinander durch Leiter verbunden. Kommt aber nur eine von den Spitzen aus dem Quecksilber hervor, so ist der Weg für den Strom gestört und es enststeht eine Unterbrechung. Die Eigenschaften des jetzt erhaltenen intermittirenden Stromes können wir durch Linie V V′ darstellen. Die Anzahl der Unterbrechungen dieser Linie ist doppelt so gross, als diejenige der Linien V und V′, da jetzt die Oeffnungen des Stromes wie in den Momenten der Unterbrechungen der Linie V, so auch in denjenigen der Linie V′ geschehen, wobei die Dauer der Unterbrechungen abwechselnd bald der Dauer der ersteren, bald der der zweiten gleich ist. Da die Grösse der Unterbrechungen der Linien V und V′ nach unserer Voraussetzung identisch ist, so haben wir hier vor uns einen Uebergang von einem intermittirenden Strome mit einer bestimmten Anzahl der Unterbrechungen und einer bestimmten Grösse der letzteren (Linie V V′) zu einem intermittirenden Strome mit einer zur Hälfte verkleinerten Anzahl der Unterbrechungen, wobei deren Grösse aber unverändert bleibt (Linien V und V′). Die Verminderung der Anzahl der Unterbrechungen erscheint somit als Folge eines abwechselnden Herausfallens einzelner Unterbrechungen und des dadurch bedingten paarigen Zusammenfliessens benachbarter Stromstösse.

Es wurde soeben gesagt, dass wir, um einen intermittirenden Strom mit seltenen Unterbrechungen zu bekommen, zum Nerven einen Strom zuleiten müssen, der nur von einer Seite durch eines der Quecksilbernäpfchen geschlossen wird. Welches Näpfchen dabei gewählt wird, ist ganz gleichgiltig, wenn sie beide auf ganz gleiche Weise aufgestellt sind. Eine ganz gleiche Aufstellung der Näpfchen ist aber fast unerreichbar (sie wird nur annähernd erreicht). In Folge dessen unterscheidet sich der Strom, welcher mittelst eines der Näpfchen erhalten wird, etwas von demjenigen, welchen das andere giebt. Auf der oben angeführten Fig. 8 weist die verschiedene Bezeichnung der Unterbrechungen (v und v′) auf die Verschiedenheit ihrer Grösse hin. Obgleich der Unterschied in der Dauer der Unterbrechungen in unserem Falle keine bedeutende Grösse zu erreichen vermag, so war es dennoch wünschenswerth, seine Wirkung eliminiren zu können.

Zu diesem Zwecke verfuhr ich in meinen Versuchen auf folgende Weise. Um den Effect der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit seltenen Unterbrechungen zu bestimmen, stellte ich immer zweierlei Reizungsversuche an: erstens liess ich durch den Nerven den Strom durchlaufen, welcher von Seiten des Näpfchens V geschlossen wird, und zweitens leitete ich dem Nerven den Strom zu, welchen das

Näpfchen V' liefert. Somit wurde im ersten Falle der Nerv durch den Strom mit Unterbrechungen v und im zweiten durch den Strom mit Unterbrechungen v' gereizt. Nur nach diesen zwei Reizversuchen unternahm ich die Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit doppelter Frequenz der Unterbrechungen, bei welcher, wie die Fig. 8 zeigt, die Unterbrechungen abwechselnd die Dauer v und v' besassen. Falls die in den zwei ersten Versuchen beobachteten Effecte sich als identisch erweisen würden, der Effect des dritten Versuches aber von denselben verschieden wäre, könnten wir allerdings vollkommen sicher sein, dass ein solcher Unterschied nicht von der kleinen Differenz in der Dauer der abwechselnd aufeinander folgenden Unterbrechungen abhängt.

Das eben beschriebene Verfahren, die Reizfrequenz bei unverändert bleibenden Unterbrechungen zu verändern, ist für den Fall bestimmt, wo die Dauer der Unterbrechungen möglichst kurz ist. Es ist jedoch klar, dass dasselbe Verfahren auch in dem Falle angewandt werden kann, wo eine Nothwendigkeit vorliegt, einen Strom mit längeren Unterbrechungen zu benutzen. Dazu brauchen wir nur beide Näpfchen vom Hammer zu entfernen, wodurch die Dauer der Contacte mit dem Quecksilber sich vermindern und folglich die Dauer der Unterbrechungen des intermittirenden Stromes sich vergrössern muss.

c) Das Verfahren, einen intermittirenden Strom mit kurzen Stössen zu erhalten. Bei gewissen Versuchen war es mir nothwendig, den Nerven durch einen intermittirenden Strom mit Stössen von möglichst kurzer Dauer zu reizen. Zu diesem Zwecke hat es sich als möglich erwiesen, denselben Unterbrecher und dieselbe Anordnung der Leiter, wie auf den Figg. 5 u. 7, zu benutzen.

Stellen wir uns nämlich vor, dass der Unterbrecher auf die uns bekannte Weise auf das Minimum der Unterbrechungen aufgestellt ist und dass die Platten des Schlüssels H nach rechts geschoben sind, und legen wir dann das Ohr an das Telephon, so hören wir keinen Ton, da der einzige für den Strom zugängliche Weg — von einem Stifte zum andern quer durch den Hammer — unter diesen Bedingungen geöffnet ist (siehe S. 27). Wir wissen aber, dass, sobald nur einer von den Stiften dem Hammer genähert wird, sogleich ein Ton erscheint, welcher auf das Ueberspringen des Stromes zwischen den Stiften b und b' hinweist. Lassen wir den Stift in einer Lage, bei welcher der Ton kaum erschienen ist, so haben wir es augenscheinlich mit einem intermittirenden Strome zu thun, dessen einzelne Stösse eine minimale Dauer besitzen. Mittelst einer weiteren Annäherung des Stiftes können wir den Stromstössen eine immer grössere Dauer verleihen.

Die absolute Dauer der Stösse des auf eine solche Weise erhaltenen Stromes kann mittelst derselben Messungen bestimmt werden, welche

wir bei dem früher beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der Dauer der Stromunterbrechungen und Stromstösse benutzten. Dazu brauchen wir nur zuerst den intermittirenden und dann den constanten Strom (der dadurch erhalten werden kann, dass wir die Stifte dem Hammer bis zur völligen Berührung nähern) dem Galvanometer zuzuleiten. Haben wir die in beiden Fällen durch den Strom hervorgerufenen Ablenkungen abgelesen und wissen wir die Reizfrequenz, welche vorher nach der gewöhnlichen Methode bestimmt sein muss, so verfügen wir über alle Grössen für eine genaue Bestimmung des Charakters des intermittirenden Stromes.

Die ausgeführten Messungen haben gezeigt, dass die Dauer der Stromstösse mittelst unserer Methode bis zu einer sehr kleinen Grösse herabgeführt werden kann. Um eine, wenn auch nur annähernde Vorstellung von dieser Dauer zu geben, will ich bemerken, dass es eine Möglichkeit giebt, die Dauer der Stösse so weit zu verkürzen, ohne die regelmässige Wirkung des Unterbrechers zu stören, dass das Vorhandensein eines intermittirenden Stromes nur mittelst des Telephons sich entdecken lässt, während auf dem Galvanometer, der unter dem Einflusse des constanten Stromes Ablenkungen von 40 bis 50° gab, keine Spuren einer Ablenkung des Zeigers bemerkbar sind. Setzen wir voraus, dass schon eine Ablenkung von $^1/_4{}^0$ unserer Aufmerksamkeit nicht entgehen könne, setzen wir weiter voraus, dass die Ablenkung vom constanten Strome 40° beträgt (es ist die minimale Ablenkung, welche ich bei solchen Bestimmungen beobachtete) und die Reizfrequenz die gewöhnlichen Grenzen (70—100) nicht übertritt, so können wir mittelst einer einfachen Berechnung zur Folgerung kommen, dass die Dauer der Stromstösse bedeutend kleiner als 0,0001 Secunde gemacht werden kann. Wenn wir andererseits einen von den Stiften dem Hammer nähern, so bekommen wir bedeutende Ablenkungen, welche auf die Möglichkeit hinweisen, den Stromstössen eine ziemlich grosse Dauer zu geben. Ich theile hier die Zahlen nicht mit, welche ich bei den verschiedenen Bestimmungen erhielt, da es am bequemsten sein wird, dieselben bei der Beschreibung der Versuche, zu denen sie gehören, anzuführen.

In meinen Versuchen war es manchmal nöthig, die Dauer der Stösse eines intermittirenden Stromes rasch zu verändern. Dazu benutzte ich die Verschiebung eines von den Stiften, welche auf ganz dieselbe Weise ausgeführt wurde, wie in der früher beschriebenen Methode der Veränderung der Unterbrechungsdauer (S. 40), d. h. ich bezeichnete mittelst des Anschraubens der Zwingen an den Kreis jene extremen Punkte, zwischen denen sich die Bewegung des mit dem Stifte verbundenen Zeigers vollziehen musste, und bewegte dann den Stift nur innerhalb der angedeuteten Grenzen.

d) Die Veränderung der Stärke des reizenden Stromes wurde mittelst allgemein bekannter Methoden bewirkt und deshalb ist es überflüssig, sich mit deren Beschreibung aufzuhalten. Ich will nur bemerken, dass ich zu diesem Zwecke entweder in den Kreis des reizenden Stromes eine verschiedene Anzahl der Elemente einführte oder ein Rheochord benutzte, das ich als eine Nebenschliessung in jenen Theil des Kreises einfügte, welcher zwischen der Wippe 2 und dem Nerven liegt (Fig. 5).

III. Die Methoden der Zustandsänderung des zu reizenden Nerven.

In den zwei vorhergehenden Abtheilungen dieses Capitels wurden die Methoden beschrieben, mittelst deren wir den Charakter des auf den Nerven wirkenden intermittirenden Stromes auf's Mannigfaltigste verändern können; jetzt aber steht es mir bevor, jene Methoden darzulegen, welche ich benutzte zur Veränderung des Nervenzustandes, um zu erforschen, welche Wirkung diese Veränderung auf die Reaction des Nerven gegen den intermittirenden Strom ausübt.

In meinen Versuchen wurde in dieser Hinsicht erstens der Einfluss der Veränderung untersucht, die im Nerven nach einer mehr oder minder langdauernden Wirkung des constanten Stromes (der Einfluss der vorläufigen Polarisation) bleibt, und zweitens der Einfluss derjenigen, welche sich während der Polarisation entwickelt (der Einfluss der Polarisation).

1. Um den Einfluss der vorläufigen Polarisation zu untersuchen, musste ich die Möglichkeit haben, den Nerven abwechselnd bald durch einen intermittirenden, bald durch einen constanten Strom zu reizen. Um das zu erreichen, verfuhr ich auf eine zweifache Weise, je nachdem ich den beiden Strömen — dem intermittirenden und dem constanten — eine gleiche oder eine verschiedene Stärke geben wollte.

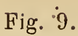
Im ersten Falle war es überflüssig, eine neue Batterie einzuführen, da ich den constanten Strom von derjenigen erhalten konnte, welche mir auch den intermittirenden lieferte. Zu diesem Zwecke wurden an zwei Stellen der Leiter, welche auf den Figg. 5 u. 7 durch schwarze Punkte bezeichnet sind, zwei Quecksilbernäpfchen eingeführt. Wenn es nöthig war, den Nerven durch einen constanten Strom zu reizen, wurden diese Näpfchen untereinander mittelst eines besonderen Metallbogens verbunden, durch den der Strom ununterbrochen fliessen konnte (der Bogen ist auf den Figuren nicht gezeichnet). Auf diese Weise hatte ich die Möglichkeit, durch das Schliessen und Oeffnen des Bogens in jedem beliebigen

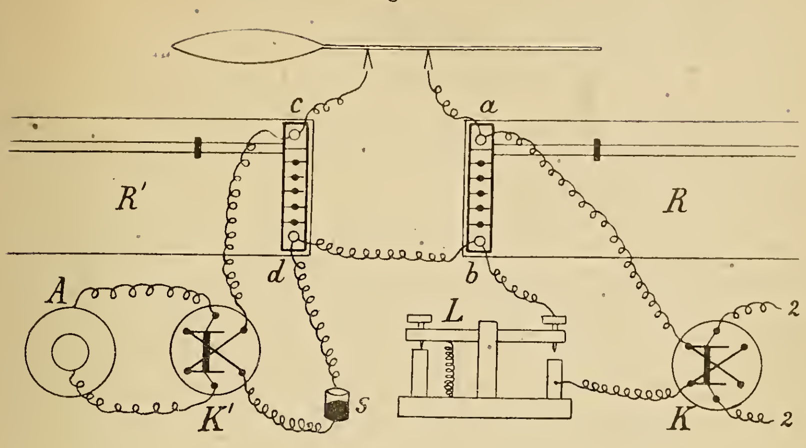
Momente den intermittirenden Strom in einen constanten und umgekehrt zu verwandeln, ohne dabei die Schwingungen des Hammers anzuhalten. Das Auflegen des Bogens entsprach nämlich der Reizung des Nerven mit dem constanten Strome aus der Batterie F, wenn ich die auf der Fig. 7 (S. 32) gezeichnete Anordnung der Leiter gebrauchte, und demjenigen aus der Batterie B′, wenn ich den Versuch einrichtete, wie es auf der Fig. 5 (S. 21) dargestellt ist. Im letzteren Falle öffnete ich während der Auflegung des Bogens den Schlüssel h nämlich zu dem Zwecke, dass ausser dem Strome aus der Batterie B′ nicht gleichzeitig auch der Stromzweig aus der Batterie B zum Nerven dringen könnte. Musste der constante Strom eine andere Stärke haben, als der intermittirende, so diente zur Polarisation des Nerven eine besondere Batterie, welche im Zwischenraume zwischen der Wippe 2 und dem Helmholtz-schen Hebel L vermittelst einer neuen Paul'schen Wippe in den Kreis eingeführt wurde. Die Umlegung der neu eingeführten Wippe gestattete uns, entweder den intermittirenden oder den constanten Strom dem Nerven zuzuleiten.

2. Um den Einfluss der Polarisation zu untersuchen, musste ich die Möglichkeit haben, den Nerven durch einen intermittirenden Strom — wie ohne die Polarisation, so auch während derselben — zu reizen. Es könnte scheinen, dass es am einfachsten wäre, die dazu bestimmten Versuche so einzurichten, wie sie Pflüger bei seiner klassischen Untersuchung über die Veränderung der Nervenerregbarkeit unter dem Einflusse des Stromes anstellte, d. h. durch eine Nervenstrecke den polarisirenden Strom fliessen zu lassen und die daneben liegende Strecke dem Einflusse des intermittirenden Stromes auszusetzen. Ich bevorzugte dennoch, auf Grund einiger Betrachtungen, eine andere Methode, bei welcher, wie der polarisirende, so auch der reizende Strom eine und dieselbe Nervenstrecke durchflossen. Zu diesem Zwecke richtete ich meine Versuche auf folgende Weise ein.

Stellen wir uns vor, dass diejenige Anordnung der Leiter, welche auf der Fig. 5 (S. 21) von der rechten Seite der Wippe 2 gezeichnet ist, unverändert bleibt, und nur die Strecke des Kreises zwischen der Wippe und dem Nerven eine Veränderung erduldet. Diese Veränderung ist schematisch auf der Fig. 9 dargestellt.

Die Drähte 2 und 2 stellen eine unmittelbare Fortsetzung derjenigen vor, welche auf der Fig. 5 von der Wippe 2 zum Nerven gehen, folglich müssen wir sie als verbunden mit der Quelle des intermittirenden Stromes betrachten; K und K′ sind Stromwender; L ist ein Helmholtz'scher Hebel; R und R′ sind Rheochorde; s ein Quecksilbernäpfchen; A die zur Polarisation des Nerven bestimmte Batterie.





Es ist klar, dass wir bei der auf der Figur dargestellten Anordnung der Leiter die Möglichkeit haben, durch dieselbe Nervenstrecke, wie einen intermittirenden, so auch einen constanten Strom fliessen zu lassen, wobei diesem wie jenem je nach der Aufstellung der Rheochorde R und R' eine beliebige Stärke und je nach der Lage der Stromwender K und K' eine beliebige Richtung gegeben werden kann. Beide Ströme werden ganz unabhängig von einander geschlossen, der reizende Strom mittelst des Hebels L und der polarisirende mittelst des Quecksilbernäpfchens s. In Folge dessen wird es möglich, die Effecte der Nervenreizung untereinander zu vergleichen, welche durch einen und denselben intermittirenden Strom zuerst ohne Polarisation und dann während ihrer Wirkung bewirkt werden.

Gegen diese Methode könnte man übrigens die Einwendung machen, dass die Stärke des intermtttirenden Stromes vor und während der Polarisation nicht vollkommen gleich bleibt. In der That, wird der Nerv der Wirkung eines intermittirenden Stromes ohne Polarisation ausgesetzt, so ist der Gang des Stromzweiges, der zum Nerven geht, unverästelt. Jedoch nach der Schliessung des polarisirenden Stromes bei s öffnen sich für den intermittirenden Strom zwischen den Punkten c und d zwei Wege, einer längs des Drahtes des Rheochords, ein anderer längs der ganzen Kette des polarisirenden Stromes. Auf diese Weise wird die Summe der Widerstände, denen der Strom begegnet, geringer, und dementsprechend muss der Strom sich verstärken. Diese Verstärkung können wir aber ganz ausser Acht lassen, da die Stärke des im Nerven circulirenden Stromes fast ausschliesslich durch den Widerstand des Nerven selbst bedingt wird, und die Widerstände aller übrigen Theile des Strom-

kreises im Vergleich zu demselben ganz und gar verschwinden. In Folge dessen ist eine unbedeutende Veränderung dieser Theile nicht im Stande, die Stromstärke merkbar zu verändern.

Jetzt bleibt uns nur noch übrig, einige Worte über die allgemeine Anordnung der Versuche zu sagen.

Der Nerv und der Muskel (ein gewöhnliches Nervenmuskelpräparat, welches aus dem N. ischiadicus in Verbindung mit dem M. gastroknemius eines Frosches besteht) befanden sich immer in der nassen Kammer des Pflüger'schen Myographions. Der Strom wurde zum Nerven mittelst unpolarisirbarer Electroden geleitet (gewöhnliche Zuleitungsröhren mit Thonspitzen). Die Entfernung zwischen den Reizelectroden glich ungefähr 1 oder $1^1/_2$ cm (die letztere Entfernung gebrauchte ich in den Fällen, wo der Nerv einer vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt wurde. Siehe weiter). Die Resultate der Versuche wurden nach der graphischen Methode auf der berussten Oberfläche eines sich drehenden Cylinders aufgeschrieben. Der Anfang und das Ende der Reizung wurden vom electromagnetischen Zeitmarkirer von Deprez markirt, welcher mit der für ihn bestimmten Batterie mittelst des einen Armes desselben Helmholz'schen Hebels L (Fig. 5 u. 7), dessen anderer Arm zur Schliessung des reizenden Stromes diente, verbunden war. Die Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders wurde aufgeschrieben mittelst eines eben solchen electromagnetischen Zeitmarkirers, welcher in den Kreis des Stromes eingeführt war, der durch ein Secunden angebendes Metronom unterbrochen wurde [1]).

In einigen Versuchen war es nothwendig, nicht nur den Anfang und das Ende der Reizung anzumerken, sondern auch die Momente der Schliessung und der Oeffnung des polarisirenden Stromes, sowie auch die Momente dieser oder jener Veränderung des Reizungscharakters. Dazu gebrauchte ich auch die Zeitmarkirer von Deprez. Damit die Schliessung und die Oeffnung der mit dem Zeitmarkirer verbundenen Kette mit den-

---

[1]) Um die Zeit aufzuschreiben, benutzte ich denselben Zeitmarkirer, welcher auch zur Registrirung des Anfangs und des Endes der Reizung diente. Zu diesem Zwecke führte ich, nach dem Ende jedes Versuches, in den Kreis des Zeitmarkirers ein Metronom ein und schrieb, ohne die Drehungsgeschwindigkeit des Cylinders zu verändern, die Secunden unter dem erhaltenen Myogramme auf. Auf diese Weise wurde die Drehungsgeschwindigkeit nicht während, sondern sogleich nach jedem Versuche aufgeschrieben. Da die Drehung des von mir gebrauchten Cylinders vollkommen regelmässig war (der Cylinder wurde vom electromagnetischen Motor von Deprez in Bewegung gebracht), kann man diesem Umstande kaum irgend eine Bedeutung zuschreiben.

jenigen Momenten zusammentreffen könnten, welche einregistrirt werden mussten, wandte ich in verschiedenen Fällen auch verschiedene Methoden an, deren ausführliche Beschreibung ich für überflüssig halte. Ich will nur bemerken, dass jede Veränderung in den Bedingungen der Nervenreizung nur durch eine Verschiebung dieser oder jener Theile des Kreises erzielt werden konnte, wobei es immer möglich war, diese Verschiebungen zu benutzen, um den im Zeitmarkirer circulirenden Strom zu öffnen und zu schliessen.

Capitel III.

Vorläufige Bemerkungen und Vorversuche.

Da ich mich entschlossen habe, eine eingehende Untersuchung der bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Kettenstrom zu beobachtenden Erscheinungen vorzunehmen, musste ich schon im Voraus erwarten, dass ich bei der Erklärung der gewonnenen Resultate bedeutenden Schwierigkeiten begegnen werde. Jeder Stoss eines intermittirenden Stromes ist im Stande, den Nerven wie im Momente seines Entstehens (an der Kathode), so auch im Momente seines Verschwindens (an der Anode) zu erregen; beobachten wir deshalb einen durch den intermittirenden Strom hervorgerufenen Effect, so können wir nicht mit Sicherheit behaupten, ob die Erregung in der Wirkungssphäre des Katelectrotonus oder in der des Anelectrotonus entstanden ist. Indessen hat die Möglichkeit, diese Frage zu beantworten, eine wesentliche Bedeutung, da wir sonst überhaupt jeden festen Stützpunkt für irgend welche Folgerungen verlieren.

Zur Lösung dieser Frage könnte man in einigen Fällen das sog. Pflüger'sche Zuckungsgesetz benutzen, unter der Voraussetzung, dass die Nervenerregung unter dem Einflusse jedes einzelnen Stosses des intermittirenden Stromes sich in einer ganz ähnlichen Weise, wie auch unter der Wirkung des Schliessens und des Oeffnens des constanten Stromes vollzieht. Wie bekannt, hat Pflüger gezeigt, dass alle möglichen Intensitäten des reizenden Stromes in drei verschiedene Kategorien getheilt werden können — einen schwachen, einen mittelstarken und einen starken Strom — von denen jeder seine besondere Reaction in dem Nerven hervorruft: die Ströme von mittlerer Intensität rufen eine Contraction wie beim Schliessen, so auch beim Oeffnen hervor, schwache Ströme — nur beim Schliessen und starke je nach ihrer Richtung — entweder nur beim Schliessen (starke absteigende Ströme) oder nur beim Oeffnen (starke aufsteigende Ströme).

Da die Schliessungserregung in der Wirkungssphäre vom Katelectrotonus entsteht, die Oeffnungserregung aber in der vom Anelectrotonus, so könnten wir nach der gemachten Voraussetzung sagen, dass die Muskelcontraction bei der Wirkung (auf den Nerven) schwacher intermittirender Ströme beider Richtungen, sowie auch starker absteigender, ausschliesslich von der im Gebiete der Kathode entstehenden Erregung abhängen muss, die Contraction bei der Wirkung starker aufsteigender Ströme von derjenigen im Gebiete der Anode und endlich die Contraction unter dem Einfluss der mittelstarken Ströme von der an beiden Polen des reizenden Stromes entstehenden Erregung.

Wenn auch die Voraussetzung, dass die von einzelnen Stössen hervorgerufenen Effecte dem Pflüger'schen Zuckungsgesetze folgen, sehr wahrscheinlich erscheint, so darf sie nichtsdestoweniger wegen Mangels der betreffenden Untersuchungen heutzutage nicht als genau bewiesen bezeichnet werden. Selbst wenn wir sogar zuliessen, dass diese Voraussetzung ohne Zweifel bestehe, so könnten wir davon nur einen sehr eingeschränkten Gebrauch machen. Da ich in meinen Versuchen über die Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom nur die Lösung gewisser theoretischer Fragen zu erreichen beabsichtigte, so musste ich mich auf die Untersuchung blos jener reinen Fälle beschränken, in denen der hervorgerufene Effect nur von der Erregung an der Kathode oder nur von der an der Anode abhängen konnte, und diejenigen Fälle ganz ausser Acht lassen, bei welchen die Muskelreaction durch eine von beiden Polen ausgehende Erregung bestimmt wurde.

Hätte ich mich nun nur durch das Pflüger'sche Zuckungsgesetz leiten lassen, so müsste ich zur Reizung nur Ströme von einer gewissen Stärke gebrauchen, und selbst dabei mich zu den gewonnenen Resultaten mit äusserster Vorsicht verhalten. Deshalb suchte ich eine solche Methode zu finden, die mir gestattete, den Nerven unter allen möglichen Bedingungen zu reizen und zugleich eine sichere Garantie böte, dass der beobachtete Effect ausschliesslich von der Erregung an einem Pole abhänge, mit anderen Worten eine solche Methode, mittelst welcher ich die Erscheinungen der Erregung an der Kathode und an der Anode des intermittirenden Stromes abgesondert von einander untersuchen könnte.

Eine solche Methode wurde gefunden und gründete sich auf der Eigenschaft des constanten Stromes, den Nerven unter gewissen Bedingungen für die Erregung undurchdringlich zu machen.

Wie bekannt, waren Grünhagen[1]) und dann Hermann[2]) die ersten, welche auf die Eigenschaft des negativen Poles eines constanten

[1]) Grünhagen, Zeitschr. f. rat. Med. (3.) XXXVI. 1869. S. 145.
[2]) Hermann, Pflüger's Arch. X. 1875. S. 228.

Stromes, den Nerven für die Erregung undurchdringlich zu machen, ihre Aufmerksamkeit gewandt haben. Später wurde von mir[1]) gezeigt, dass die Erscheinung sich nur mit dem Zeitverlauf entwickelt, so dass eine mehr oder weniger lange dauernde Polarisation erforderlich ist, um dieselbe hervorzurufen: reizen wir eine Nervenstrecke, welche höher (weiter vom Muskel) als die Kathode des polarisirenden Stromes liegt, so erhalten wir im Anfang der Polarisation zuerst normale Effecte und nur nach Ablauf einer gewissen Zeit entwickelt sich die Undurchdringlichkeit des negativen Poles, welche sich darin kundgiebt, dass die stärksten Reizungen keine Spuren von Muskelcontraction mehr hervorrufen. Untersuchen wir jetzt die Nervenerregbarkeit in der Wirkungssphäre des Katelectrotonus in der Nähe des Poles und an dem Pole selbst, so erweist es sich, dass sie hier nicht nur nicht erhöht, wie es auf Grund der bekannten Pflüger'schen Gesetze zu erwarten wäre, sondern sogar vermindert ist.

Eine eingehendere Untersuchung zeigte jedoch, dass die von mir gefundene Erregbarkeitsabnahme im Gebiete des Katelectrotonus keineswegs zur Widerlegung der Pflüger'schen Gesetze beitragen kann. Es hat sich nämlich erwiesen, dass die Erregbarkeit, nachdem der Strom in einem frisch präparirten Nerven geschlossen worden, an beiden Seiten der Kathode, sowie am Pole selbst immer erhöht erscheint, doch stellt diese Erhöhung nur die erste Phase der Erscheinungen dar: in allen Fällen ohne Ausnahme geht bei fortdauernder Polarisation diese Erhöhung der Erregbarkeit allmälig in deren Verminderung über. Wir können diesen Uebergang beobachten, indem wir den polarisirenden Strom schliessen und von Zeit zu Zeit die Erregbarkeit prüfen. Dann zeigt die erste Prüfung eine sehr schroffe Erregbarkeitserhöhung, bei den nachfolgenden Prüfungen aber wird diese Erhöhung immer schwächer und schwächer ausgeprägt, bis endlich die weiteren Prüfungen auf das Vorhandensein einer immer weiter und weiter progressirenden Erregbarkeitsabnahme hinweisen. Auf Grund dieser Thatsachen hat es sich für nothwendig erwiesen, anzuerkennen, dass der Katelectrotonus fähig ist, zweierlei Erscheinungen hervorzurufen: einerseits eine Erhöhung der Erregbarkeit, welche gleich nach dem Anfang der Polarisation beobachtet wird, anderseits deren Verminderung, welche sich nur allmälig während der Wirkung des polarisirenden Stromes entwickelt. Die erste Erscheinung bezeichnete ich als die primäre oder Pflüger'sche Erregbarkeitserhöhung, die zweite als die secundäre Erregbarkeitsabnahme.

Kehren wir zur Frage nach der Undurchdringlichkeit des Poles zurück, so müssen wir sagen, dass diese Erscheinung auf die deutlichste

---

[1]) Pflüger's Arch. XXXI. 1883.

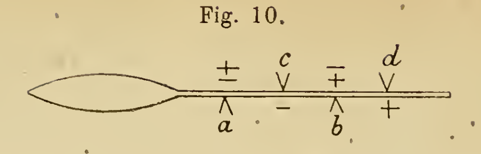
Weise mit der secundären Erregbarkeitsabnahme verbunden ist. So lange die secundäre Erregbarkeitsabnahme sich noch nicht zu entwickeln vermag oder so lange sie noch sehr schwach ausgeprägt ist, leitet der Pol die Erregung ganz ungehindert; sobald aber die Erregbarkeit sich unter eine gewisse Grösse herabsenkt, wird er sogleich undurchdringlich. Beim Oeffnen des polarisirenden Stromes wird eine Wiederherstellung der schon verschwundenen Leitungsfähigkeit beobachtet. Diese Wiederherstellung tritt entweder sogleich nach dem Oeffnen des Stromes oder nur nach Ablauf einer mehr oder weniger langen Zeit ein. Das erste wird in dem Falle beobachtet, wenn der Strom nur während einer Zeit wirkte, die kaum hinreichte, um eine volle Undurchdringlichkeit zu entwickeln, das zweite aber dann, wenn die Polarisation eine grössere Dauer besass. Dabei beobachten wir, je nach der Dauer der Polarisation, alle möglichen Uebergänge zwischen den Fällen, wo die Wiederherstellung bald nach dem Aufhören der Polarisation stattfindet, und denjenigen, wo zwischen dem Momente der Stromöffnung und der Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit eine lange Zeit verfliesst (mehrere Minuten, sogar Stunden). Auch in diesen Erscheinungen kann man einen Zusammenhang zwischen der Leitungsfähigkeit des Poles und dem Zustande seiner Erregbarkeit entdecken, da der Nerv, wie es die Versuche gezeigt haben, sich von der secundären Erregbarkeitsabnahme sehr schnell erholt, falls die Polarisation eine kurze Zeit dauerte, und sehr langsam, falls die letztere anhaltend war.

Alle beschriebenen Erscheinungen können ebenso gut bei den schwächsten, als auch starken polarisirenden Strömen beobachtet werden. Der ganze Unterschied zwischen den bezeichneten Fällen besteht nur darin, dass bei einer schwachen Polarisation die primäre Pflüger'sche Erhöhung der Erregbarkeit lange dauert und nur nach einer geraumen Zeit der secundären Erregbarkeitsabnahme Platz macht; bei den starken Strömen aber erscheint die Erregbarkeitsabnahme schon in den ersten Momenten nach dem Anfange der Polarisation. Dementsprechend entwickelt sich die Undurchdringlichkeit der Kathode im ersten Falle sehr spät, und im zweiten schnell nach der Schliessung des Stromes.

Die beschriebene Erscheinung der Undurchdringlichkeit des negativen Poles benutzte ich, um eine isolirte Beobachtung der Erregungsvorgänge zu ermöglichen, welche an der Kathode und an der Anode des intermittirenden Stromes stattfinden.

Stellen wir uns vor, dass ab (Fig. 10) diejenige Nervenstrecke darstellt, welche wir der Reizung durch einen intermittirenden Strom aussetzen wollen; und weiter, dass eine andere Nervenstrecke cd, welche hinsichtlich der ersten die auf der Figur gezeigte Lage einnimmt, mit einer besonderen Batterie verbunden ist.

Fig. 10.



Lassen wir nun den Strom durch die Strecke cd in einer absteigenden Richtung fliessen, bis dass im Punkte c (die Kathode des Stromes) eine so starke secundäre Erregbarkeitsabnahme erscheint, dass dieser Punkt auf lange Zeit seine Fähigkeit, die Erregung zu leiten, verliert. Nachdem dies erreicht ist, unterbrechen wir die Polarisation und fangen an, die andere Nervenstrecke ab durch einen Strom von beliebiger Richtung zu reizen. Es ist klar, dass unter den gegebenen Bedingungen der für die Erregung undurchdringliche Punkt c, welcher zwischen den Electroden des reizenden Stromes liegt, die zu reizende Nervenstrecke in zwei functionell vollkommen isolirte Theile trennen muss: die Erregung, welche in einem Theile dieser Strecke erscheint, ist nicht im Stande, sich in den anderen zu verbreiten. In Folge dessen liegt es nahe, anzunehmen, dass wir es bei der Reizung der Strecke ab mit solchen Erscheinungen zu thun haben werden, als würde der Nerv nur von demjenigen Pole des Stromes gereizt, der sich an der Stelle der Electrode a befindet, und zwar von der Kathode, falls der reizende Strom eine absteigende, und von der Anode, falls er eine aufsteigende Richtung hat.

Da gegen eine solche Voraussetzung manche sehr gründliche Einwände gemacht werden könnten, so habe ich einige Vorversuche angestellt, die mich von der vollkommenen Anwendbarkeit der oben bezeichneten Methode überzeugten.

Die erwähnten Vorversuche bestanden darin, dass ich, nachdem die Nervenstrecke cd vorläufig durch einen starken absteigenden Strom polarisirt war, die Nervenstrecke ab durch das Oeffnen und Schliessen eines constanten Stromes von verschiedener Richtung und verschiedener Stärke reizte. Es erwies sich dabei, dass absteigende Ströme verschiedener Stärke nur Schliessungszuckungen und keine Spuren von Oeffnungszuckungen bewirken, aufsteigende aber nur Oeffnungs- und keine Schliessungszuckungen hervorrufen, mit anderen Worten, dass der Muskel in Wirklichkeit nur gegen die Erregung reagirt, welche im Nerven an der Stelle der Electrode a entsteht.

Zur vorläufigen Polarisation der Nervenstrecke cd benutzte ich den absteigenden Strom 3D. Die Zeit, während welcher der Strom auf den Nerven wirken muss, um den Punkt c auf eine längere Dauer hin für die Erregnng undurchdringlich zu machen, war etwa gleich 5 Minuten. Es ist übrigens bei der Bestimmung der Dauer der vorläufigen Polari-

sation, welche in jedem speciellen Falle nöthig ist, viel zweckmässiger sich nicht nach der angegebenen Zeit zu richten, sondern auf folgende Weise zu verfahren. Nachdem wir den Kreis der mit der Nervenstrecke cd verbundenen Batterie geschlossen haben, müssen wir den Strom bisweilen auf kurze Zeit öffnen. Wenn bei einem solchen Oeffnen eine Oeffnungszuckung entsteht, so bedeutet dies, dass die Kathode noch für die Erregung durchdringlich ist und die Polarisation folglich noch fortgesetzt werden muss. Wenn wir nach der ersten Prüfung, welche die Abwesenheit einer Oeffnungszuckung gezeigt hat, die Polarisation noch eine oder zwei Minuten lang fortsetzen, so können wir sicher sein, dass der Punkt c für längere Zeit (mindestens für viele Minuten) die Fähigkeit der Erregungsleitung verloren hat.

Zur Reizung der Strecke ab gebrauchte ich den Strom 4D mit dem Rheochord von du Bois-Reymond, das als eine Nebenschliessung eingeführt wurde, wobei ich in jedem Versuche die Stärke des reizenden Stromes mannigfach variirte.

Als Beispiel führe ich zwei Myogramme an, von denen das eine (No. 1) bei der Reizung des Nerven durch absteigende, das andere (No. 2) bei der Reizung desselben durch aufsteigende Ströme erhalten ist. In allen Reizungsprüfungen (die Momente des Schliessens und des Oeffnens des Stromes sind auf den Myogrammen durch Hebungen und Senkungen der zweiten Linie bezeichnet) wurden im ersten Falle nur die Schliessungs- und im zweiten nur die Oeffnungszuckungen beobachtet. Auf den Myogrammen sind unter jedem Reizversuche Zahlen angeführt, welche die Widerstandsgrössen des Rheochords in Centimetern des Drahtes bezeichnen[1]).

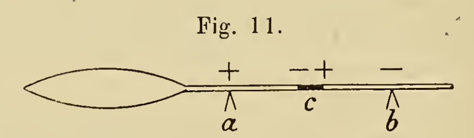
Nachdem auf diese Weise auf einem rein experimentellen Wege die Möglichkeit nachgewiesen worden ist, den Nerven mittelst der beschriebenen Methode in einen Zustand zu versetzen, in welchem er nur gegen die Schliessungen des absteigenden und nur gegen die Oeffnungen des aufsteigenden Stromes reagirt, entsteht die Frage, ob unsere Vorstellung von der Ursache, die eine solche Möglichkeit bedingt, richtig sei. Obwohl diese oder jene Lösung der Frage nicht im Stande ist, die Benutzung unserer Methode in den entsprechenden Fällen zu verhindern, so halte ich es dennoch für nothwendig, in dieser Hinsicht einige Bemerkungen zu machen.

---

[1]) Indem ich die Widerstandsgrösse des Rheochords in Centimetern ausdrücke, setze ich voraus, dass das nacheinander folgende Herausnehmen der 5 Stöpsel des Rheochords dem Einführen eines Widerstandes entspricht, welcher 100, 100, 200, 500 und 1000 Centimetern jenes Drahtes gleicht, der ausserhalb des Apparates angebracht ist.

Unsere Vorstellung gründet sich auf der Voraussetzung, dass die Nervenstrecke, welche eine geraume Zeit der Wirkung der Kathode des polarisirenden Stromes ausgesetzt war und in Folge dessen die Fähigkeit der Erregungsleitung verloren hat, doch nicht ganz jene Eigenschaften verliert, welche einem unversehrten Nerven eigen sind und dass folglich diese Strecke nicht so betrachtet werden kann, wie z. B. eine durch Ligatur, chemische Agentien oder eine mechanische Gewalt u. s. w. getödtete. Wir setzen in der That voraus, dass der Strom, welcher an beiden Seiten des nach unserer Methode undurchdringlich gemachten Punktes angelegt ist, den Nerven dennoch von einer Seite (an der Kathode) in den Zustand des Katelectrotonus und von der anderen (an der Anode) in den des Anelectrotonus versetzt, mit anderen Worten: dass der reizende Strom sich in unserem Falle auf eine ganz ähnliche Weise, wie im normalen Nerven, vertheilt (vom Standpunkte der Hermann'schen Theorie des Electrotonus). Es ist indessen bekannt, dass das Vorhandensein einer getödteten Strecke in der Ausdehnung des Nerven die Vertheilung des Stromes gänzlich verändert. Wenn z. B. die von der Ligatur getödtete Strecke sich ausserhalb der Anlegungsstelle des Stromes an den Nerven befindet, äussert sich der Einfluss der Ligatur dadurch, dass der Electrotonus sich nur bis zur Ligatur verbreitet. Wenn aber die Ligatur zwischen den Electroden liegt, wie es z. B. auf der Fig. 11 dargestellt ist, dann trennt der getödtete Nerventheil c, der alle seine charakteristischen Eigenschaften verliert und sich in einen so zu

Fig. 11.



sagen ganz indifferenten Stromleiter verwandelt, die Nervenstrecke a b in zwei vollkommen selbstständige Hälften a c und c b, von denen jede ihre besondere Kathode und Anode besitzt. In Folge dessen giebt der zur Strecke a b geleitete Strom unter entsprechenden Bedingungen wie Schliessungs-, so auch Oeffnungszuckungen.

Für die normale Vertheilung des Stromes in einem einer vorläufigen Polarisation nach unserer Methode ausgesetzten Nerven können mehrere Beweise angeführt werden.

Erstens zeugt dafür die auf experimentellem Wege nachgewiesene Möglichkeit, eine Muskelreaction entweder nur beim Schliessen oder nur beim Oeffnen des reizenden Stromes zu erhalten. Zweitens kann man kaum zulassen, dass die electrotonische Vertheilung des Stromes, die ja eine rein physikalische Erscheinung ist und von der eigenartigen Structur

des Nerven abhängt, sich bedeutend verändern könnte, ohne dass die letztere sich dabei verändert habe. Indessen kann die Abwesenheit irgend welcher tief gehenden Veränderungen des Nerven an der Stelle, welche für die Erregung undurchdringlich geworden ist, keinem Zweifel unterliegen: die Fähigkeit des Nerven, sich von der Undurchdringlichkeit zu erholen, weist darauf hin, dass die vorhandene Veränderung einen rein functionellen Charakter (die Verminderung der Erregbarkeit) hat. Drittens endlich besteht der Hauptbeweis zu Gunsten unserer Erklärung darin, dass die für die Erregung undurchdringliche Nervenstelle sich für electrotonische Ströme als durchdringlich erweist. Obgleich ich selbst keine Versuche angestellt habe, die ich zu Gunsten dieses Satzes anführen könnte, so kann ich dafür die ensprechende, wenn auch zufällige Beobachtung eines so hervorvorragenden Forschers, wie Hermann, citiren. In seiner Arbeit über die Actionsströme des Nerven (Arch. f. d. ges. Physiol. XXIV. 1880) finden wir in der Anmerkung auf Seite 272 die folgende Stelle: „Bei sehr starken polarisirenden Strömen kann es vorkommen, dass der Katelectrotonus eine bleibende Unfähigkeit der von ihm stärker ergriffenen Stellen hinterlässt, die Erregung zu leiten . . . . . . Bemerkenswerth ist, dass der Electrotonus selber über die leitungsunfähige Strecke sich wie sonst fortpflanzt, wenn auch etwas geschwächt.“

Auf Grund des oben Gesagten glaube ich, dass wir bei der vorgeschlagenen Methode wirklich im Stande sind, den Nerven nur durch einen Pol des Stromes zu reizen oder, besser gesagt, den Nerven in zwei Theile zu trennen, von denen in jedem nur diejenige Erregung entstehen und sich verbreiten kann, welche dem in diesem Theile liegenden Strompole entspricht.

Da wir weiter bei der Untersuchung der Erscheinungen der Nervenreizung durch einen intermittirenden Strom nicht selten die beschriebene Methode der Isolirung der Schliessungs- und Oeffnungserregung benutzen werden, so erscheint es als zweckmässig, dieselbe auf irgend welche Weise kurz zu bezeichnen, um lange Periphrasen zu vermeiden. Die vorläufige Polarisation des Nerven, wenn sie darauf berechnet ist, irgend welchen Theil desselben für die Erregung undurchdringlich zu machen, werde ich weiter als vorläufige isolirende Polarisation bezeichnen. Ausserdem werde ich immer von einer Reizung oder von einer Polarisation des Nerven durch die Kathode oder durch die Anode sprechen, wobei ich unter diesen Ausdrücken die ab- und aufsteigende Reizung resp. Polarisation desjenigen Nerven verstehen werde, welcher einer vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt wurde. Eine solche Bezeichnungsweise ist vollkommen gesetzmässig, da auf Grund des oben Gesagten die Wirkung des reizenden und des polarisirenden Stromes sich unter

diesen Bedingungen nur insofern äussern kann, als sie aus dem Strompole entspringt, welcher diesseits (näher zum Muskel) der für die Erregung undurchdringlichen Nervenstrecke liegt.

Es stehen uns also zwei Methoden zur Verfügung, die eine isolirte Beobachtung der Erregungsprocesse an der Kathode und an der Anode des intermittirenden Stromes ermöglichen: die eine, welche nur in einigen speciellen Fällen anwendbar ist und sich auf dem Pflüger'schen Zuckungsgesetze gründet, und die andere, welche unter allen möglichen Bedingungen benutzt werden kann, und sich auf die Methode der Isolirung des Nerven durch eine vorläufige Polarisation stützt. Die beiden Methoden wurden von mir in meinen Untersuchungen systematisch gebraucht. Dabei bevorzugte ich die erste Methode überall, wo man sie nur anwenden konnte. Ich verfuhr auf diese Weise, weil die Anwendung der Methode der isolirenden Polarisation trotz aller ihrer Vorzüge an einem unvermeidlichen Mangel leidet: wir sind nämlich nicht im Stande, mittelst dieser Methode einen ganz normalen, soeben präparirten Nerven zu untersuchen, sondern werden genöthigt, unsere Versuche stets an einem solchen Nerven anzustellen, der einer vorangegangenen Stromwirkung unterworfen war. Indessen werden wir weiter sehen, dass eine solche Stromwirkung fähig ist, die Reaction des Nerven gegen die Reizung bedeutend zu verändern.

Aber selbst in jenen Fällen, wo es mir möglich war, die erste Methode zu gebrauchen, leistete mir auch die zweite einen grossen Dienst. Ich habe schon im Anfange des gegenwärtigen Capitels bemerkt, dass das Pflüger'sche Zuckungsgesetz nur mit äusserster Vorsicht auf den Fall der Nervenreizung durch einen intermittirenden Strom übertragen werden darf, denn dasselbe, was sich von der Nervenreizung durch verhältnissmässig langdauernde Stromschliessungen sagen lässt, kann sich bei der Wirkung kurzer Stösse als unanwendbar erweisen. Ausserdem folgt das Pflüger'sche Gesetz aus den Versuchen der Reizung eines normalen, unter gewöhnlichen Bedingungen untersuchten Nerven, während manche von meinen Versuchen unter ganz anormalen Bedingungen angestellt wurden. In Folge dessen mussten die nach der ersten Methode ermittelten Resultate fortwährend controllirt werden. Zu dieser Controlle diente mir nämlich die vorläufige isolirende Polarisation.

Beide Methoden habe ich, wie gesagt, systematisch während dieser ganzen Untersuchung gebraucht, so dass die letztere folglich in zwei vollkommen selbstständige Theile zerfällt: erstens die Untersuchung der Effecte der Reizung durch die Kathode und zweitens durch die Anode des intermittirenden Stromes. Obgleich beiderlei Untersuchungen meistentheils parallel ausgeführt wurden, so werde ich sie der Bequemlichkeit halber dennoch in besonderen Capiteln beschreiben. In dieser Beschrei-

bung werde ich nur die thatsächliche Seite berücksichtigen und alle theoretischen Betrachtungen möglichst vermeiden; zu den letzteren werde ich erst nach einer ausführlichen Uebersicht der Thatsachen übergehen.

Bevor ich aber eine Darstellung der ermittelten Resultate unternehme, scheint es mir gelegen, noch folgende Bemerkungen zu machen hinsichtlich einiger Vorsichtsmaassregeln, die ich in meinen Versuchen ergreifen musste.

Die Untersuchung der Effecte der Nervenreizung durch einen intermittirenden Strom kann zwei Zwecke verfolgen: erstens die Erörterung der Erscheinungen, welche im Nerven selbst, und zweitens derjenigen Erscheinungen, welche im Muskel stattfinden. In der ganzen vorliegenden Untersuchung wollte ich nur den ersteren Zweck verfolgen. Da ich jedoch von den Erscheinungen der Nervenerregung nach der im Muskel beobachteten Reaction urtheilen musste, so war es nöthig, dass auch die Eigenschaften des Muskels berücksichtigt wurden.

Bis zur letzten Zeit schien es keinem Zweifel unterliegen zu können, dass die im Nerven stattfindenden Erregungsprocesse vom Muskel mit vollkommener Genauigkeit wiedergegeben werden, so dass einer stärkeren Erregung des Nerven immer eine stärkere Muskelcontraction entspricht und umgekehrt. Von diesem Standpunkte aus könnte man die Beurtheilung der Nervenprocesse auf Grund der Beobachtung der Muskelcontraction vollkommen frei von Fehlerquellen halten und somit hätten wir eine Möglichkeit, besondere Vorsichtsmaassregeln entbehren zu können. Obgleich diese Ansicht über das Verhältniss zwischen der Erregung des Nerven und des Muskels bis jetzt fast allgemein gültig ist, so hat man doch in der letzten Zeit Thatsachen beobachtet, die hier auf das Vorhandensein viel complicirterer Verhältnisse hinweisen. Wwedensky[1]) (Ueber die gegenseitigen Verhältnisse zwischen der Reizung und Erregung beim Tetanus. 1886) hat die von Kries[2]) zuerst beobachtete Thatsache bestätigt und gezeigt, dass die Verstärkung der tetanischen Nervenreizung, welche auch die Nervenerregung verstärken muss, unter gewissen Bedingungen zur Abschwächung der Muskelcontraction führt und umgekehrt.

Freilich kann ich nicht zugeben, dass diese von Kries flüchtig erwähnte und von Wwedensky ausführlich untersuchte Erscheinung im Stande wäre, die Bedeutung der allgemein anerkannten und der einzigen praktisch bequemen Methode der Untersuchung der Nervenerregung umzustürzen. Schon der Umstand, dass diese Thatsache bis zur letzten Zeit unbekannt blieb, trotz zahlreicher Untersuchungen der Effecte der tetani-

---

[1]) Die citirte Arbeit ist nur russisch gedruckt.

[2]) Kries, Ueber die Erregung der motorischen Nerven durch Wechselströme. Berichte d. naturforsch. Gesellsch. zu Freiburg. VIII. Heft II. 1884. S. 197—198.

schen Nervenreizung, dient uns als genügende Bürgschaft dafür, dass sie nur ausnahmsweise vorkommt. Jedoch schon die blosse Möglichkeit, einer solchen Thatsache zu begegnen, verpflichtet uns, äusserst vorsichtig zu sein, um nicht in Fehler zu verfallen und keine Erhöhung der Nervenerregung dort anzuerkennen, wo diese Erregung in der That vermindert wird, und umgekehrt.

Diese Vorsicht hat sich bei meiner Untersuchung in einer sorgfältigen Vermeidung jener Bedingungen geäussert, bei welchen nach Wwedensky die in Rede stehende Erscheinung beobachtet wird. Diese Bedingungen sind folgende: erstens ein gewisser Grad der Muskelermüdung (die Erscheinung wurde nie an einem frischen Muskel beobachtet), zweitens eine plötzliche, während der Reizung selber bewirkte Veränderung des Reizungscharakters (ihrer Stärke oder Frequenz). In Folge dessen berücksichtigte ich bei der Anstellung meiner Versuche folgende Regeln, wobei ich nie auch nur die geringste Andeutung auf die von Wwedensky beobachteten Erscheinungen bemerkte.

a) Für jeden Versuch nahm ich ein frisches, soeben aus dem Körper des Thieres herausgeschnittenes Präparat, so dass ich vor dem Beginne des Versuches sicher sein konnte, dass keine Spuren von Muskelermüdung vorhanden waren.

b) Um die Entwickelung der Ermüdung während des Versuches zu verhindern, suchte ich einerseits die Dauer der tetanischen Reizung möglichst kurz, andererseits die Anzahl solcher Reizungen möglichst klein zu machen.

c) Wenn ich die Effecte vergleichen wollte, welche bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom von verschiedener Beschaffenheit beobachtet wurden, so pflegte ich den Charakter des Stromes nicht während der Reizung, sondern nach deren Beseitigung zu verändern.

Die bezeichneten Maassregeln wurden in meinen Versuchen systematisch ergriffen. Wenigstens unterwarf ich die Resultate aller Versuche, während deren irgend welche Abweichungen zugelassen wurden, einer nochmaligen Prüfung bei strenger Befolgung der beschriebenen Vorsichtsmaassregeln.

Nach diesen vorläufigen Bemerkungen gehe ich zur Darstellung der Thatsachen meiner Untersuchung über.

Capitel IV.

Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Bei der Untersuchung der Erscheinungen, deren Beschreibung den Gegenstand des vorliegenden Capitels bilden wird, suchte ich die Versuche derart einzurichten, dass die Muskelreaction ausschliesslich von denjenigen Processen abhänge, die der intermittirende Strom im Nerven an der Kathode hervorruft, dass mit anderen Worten jeder Stromstoss nur bei seiner Schliessung den Nerven errege.

Behufs dessen war ich genöthigt, eine von den im vorigen Capitel beschriebenen Methoden der Isolirung der Schliessungs- und Oeffnungserregung anzuwenden, d. h. ich musste entweder reizende Ströme von entsprechender Stärke und Richtung gebrauchen, oder den Nerven einer vorläufigen isolirenden Polarisation unterwerfen.

Bei der Beschreibung beider Methoden wurde gezeigt, dass die erstere der zweiten vorgezogen werden muss, da sie gestattet, der Untersuchung einen vollkommen normalen Nerven zu unterwerfen. Da ich nun die Sphäre ihrer Anwendung möglichst zu erweitern wünschte, so stellte ich alle meine Versuche an der mittleren Strecke des Nerven an, d. h. an derjenigen Strecke, die zwischen der Stelle der Theilung des Nervenstammes im unteren und der Stelle des Ausgangspunktes des grossen Muskelzweiges im oberen Theile des Oberschenkels liegt.

Die mittlere Nervenstrecke erweist sich nämlich, wie es von Grützner (Pflüg. Arch. XXXII. 1883) bewiesen ist, besonders wenig empfindlich gegen die Reizung durch das Oeffnen des constanten Stromes: wenn man dieser Strecke ziemlich starke Ströme beider Richtungen zuleitet, so wirken sie noch als schwache im Pflüger'schen Sinne, d. h. sie geben keine Oeffnungs-, sondern nur Schliessungszuckungen[1]). Auf diese Weise wirken

[1]) In dieser Hinsicht muss der mittleren Nervenstrecke die nahe am Querschnitte

in der Mehrzahl der Fälle (wie es meine speciell darauf gerichteten Versuche gezeigt haben) alle Ströme von einer Stärke unter 1 D. Nehmen wir Rücksicht darauf, dass die absteigenden Ströme von 3 oder 4 D schon anfangen, die dritte Stufe des Pflüger'schen Zuckungsgesetzes hervorzurufen, d. h. dass sie wiederum nur beim Schliessen Zuckungen geben, so ersehen wir, dass die Stromstärken, die man bei der Reizung der mittleren Nervenstrecke gebrauchen kann, ohne dabei die isolirende Polarisation anzuwenden, sich als sehr mannigfaltige erweisen.

Obgleich ich auf diese Weise die Möglichkeit hatte, in den meisten der im vorliegenden Capitel dargelegten Versuche die verhältnissmässig umständliche Anwendung der isolirenden Polarisation zu vermeiden, benutzte ich sie dennoch sehr oft. Ich richtete mich in dieser Hinsicht nach dem, was im vorigen Capitel in Bezug auf die Nothwendigkeit einer gegenseitigen Controllirung derjenigen Resultate gesagt wurde, die bei den beiden Methoden der Isolirung der Schliessungs- und Oeffnungserregung ermittelt werden. Die Nothwendigkeit einer derartigen Controllirung folgte aus der von mir bemerkten Thatsache, dass die schwache Empfänglichkeit des mittleren Nerventheiles gegen die Oeffnungserregung nur dann besonders nachdrücklich hervortritt, wenn der Reizung ein normaler, soeben präparirter Nerv ausgesetzt wird; im entgegengesetzten Falle kann man die Oeffnungserregung manchmal selbst bei schwächster Reizung beobachten. Diese Thatsache könnte selbstverständlich das Zutrauen zu den ohne die isolirende Polarisation angestellten Versuchen bedeutend vermindern, wenn sie nicht mittelst dieser letzteren controllirt würden.

Um bei der weiteren Darstellung nicht nöthig zu haben, diese Controllversuche in Bezug auf jeden speciellen Fall zu erwähnen, will ich hier ein- für allemal bemerken, dass solche Versuche stets angestellt wurden. Auf diese Weise giebt es zwischen allen weiter erwähnten Erscheinungen keine einzige (natürlich diejenigen ausgenommen, von denen im Texte das Gegentheil gesagt wird), welche nicht mittelst der angezeigten Methode controllirt wurde.

Obgleich es sich in diesem Capitel ausschliesslich um die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes handelt, so hing doch auf einigen Myogrammen, die von mir zur Erläuterung der im Texte beschriebenen Erscheinungen angeführt werden, der bewirkte Effect unzweifelhaft zum Theil auch von der erregenden Wirkung der Anode ab. Eine streng abgesonderte Beschreibung der Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode und durch die Anode des

---

liegende Strecke entgegengestellt werden, wo eine Oeffnungszuckung sich besonders leicht hervorrufen lässt. (Grützner, Biedermann.)

intermittirenden Stromes ist nämlich nichts weiter, als ein künstliches Verfahren, dessen ich mich nur der Bequemlichkeit halber bediente. In Wirklichkeit aber wurde die Untersuchung bei beiderlei Reihen von Erscheinungen vollkommen parallel angestellt, so dass ich, nachdem ich mir die Wirkung einer gewissen Bedingung auf eine Reihe klar gemacht, gleich darauf entsprechende Versuche hinsichtlich der anderen Reihe unternahm. In Folge dessen hatte ich die Möglichkeit, bei der Einrichtung der Versuche mich unter anderem nach den Thatsachen zu richten, welche bei der Untersuchung der durch die Anode des intermittirenden Stromes bewirkten Reizeffecte ermittelt wurden.

Im Capitel VII, wo die eben erwähnten Thatsachen beschrieben sind, werden wir sehen, dass die erregende Wirkung der Anode, bei gewissen Bedingungen nicht während der Reizung, sondern nur bei ihrer Unterbrechung sich in Gestalt einer blossen Muskelzuckung (der Endzuckung) offenbart. Ziehen wir nun in Betracht, dass die erregende Wirkung der Kathode, wie wir es in diesem Capitel zeigen werden, sich nur während der Reizung und dabei sehr oft nur in ihren Anfangsstadien äussert, so können wir leicht verstehen, dass es Fälle giebt, in denen an die Effecte, die ausschliesslich von der aus der Kathode entstehenden Erregung abhängen, eine Endzuckung sich anschliesst, welche durch die Erregung an der Anode bewirkt wird. Es versteht sich von selbst, dass die Versuche, welche die eben beschriebenen Resultate geben, zur Erläuterung der Erscheinungen der Nervenerregung durch die Kathode des intermittirenden Stromes ebenso gut benutzt werden können, als auch diejenigen, bei welchen an der Anode gar keine Erregung entsteht. Namentlich deshalb habe ich mir erlaubt unter anderem auch diejenigen Myogramme als Beispiele anzuführen, welche ich bei derartigen Versuchen bekam.

Die Untersuchung der Erscheinungen an der Kathode des intermittirenden Stromes bewies ihre Abhängigkeit von sehr verschiedenartigen Bedingungen. Obgleich ich mich bestrebte, die Wirkung jeder Bedingung einzeln zu untersuchen, so ist doch eine strenge Gruppirung des bei mir vorhandenen (thatsächlichen) Materials äusserst beschwerlich: die grosse Mannigfaltigkeit der Factoren, die den Charakter der Erscheinungen bestimmen, verursacht, dass in der Mehrzahl der Fälle nicht ein, sondern zwei oder sogar mehrere verschiedenartige Einflüsse berücksichtigt werden müssen. In Folge dessen bin ich genöthigt auf eine separate Darlegung des Einflusses derjenigen Bedingungen, mit denen ich fast in allen Versuchen zu thun hatte, zu verzichten. Diese Bedingungen sind: einerseits die Stärke des reizenden Stromes, und andererseits die Dauer der Unterbrechungen. Die Wirkungen der übrigen

werden einzeln besprochen und deswegen zerfällt dieses Capitel in mehrere Abtheilungen, von denen jede ihrerseits in Paragraphe eingetheilt wird, welche den einzelnen Versuchsserien jeder Abtheilung entsprechen.

I. Effecte der Reizung des normalen Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Unter einem normalen Nerven verstehe ich einen solchen, der soeben präparirt ist und der Wirkung eines mehr oder minder starken Stromes noch nicht ausgesetzt war. Dieser Fall verdient darum eine besondere Untersuchung, weil jedes Durchlassen des Stromes, wie wir es weiter sehen werden, im Nerven eine Veränderung hinterlässt, welche die Effecte der Reizung in hohem Grade zu verändern vermag. In Folge dessen musste ich in allen Versuchen dieser Abtheilung (jene ausgenommen, die besonders erwähnt werden) auf die Anwendung der isolirenden Polarisation gänzlich verzichten.

Was die Eigenschaften des Stromes anbelangt, der bei den zu beschreibenden Versuchen gebraucht wurde, so muss ich bemerken, dass meine Aufmerksamkeit hauptsächlich auf die Untersuchung der Wirkung des intermittirenden Stromes mit minimalen Unterbrechungen und mit gleicher Richtung einzelner Stösse gerichtet war. Es muss namentlich eine derartige Strombeschaffenheit überall dort als gemeint angesehen werden, wo es bei der Beschreibung einzelner specieller Fälle nicht ausdrücklich geschrieben steht, dass die Reizung unter anderen Bedingungen ausgeführt wurde.

Ich begann meine Versuche mit der Untersuchung der Effecte der Reizung des Nerven durch einen schwachen intermittirenden Strom. Zu diesem Zwecke benutzte ich den Strom 1 D, indem ich ihn zum Nerven mittelst eines Rheochordes ableitete.

§ 1. Die erste Thatsache, die ich bei den Versuchen ermittelte, bestand darin, dass bei einer schwachen Reizung (1 D mit 1—10 cm des Rheochorddrahtes) der intermittirende Strom denselben Effect bewirkt, wie auch der constante, d. h. eine einzige Muskelzuckung im Momente der Kettenschliessung auslöst. Ein solcher Effect entsteht nur dann, wenn sämmtliche Stromstösse dieselbe Richtung besitzen; wenn aber ihre Richtung abwechselnd entgegengesetzt ist, dann beobachtet man einen Tetanus, der die ganze Reizungszeit hindurch dauert. Die Erscheinung bewahrt bei der aufsteigenden, sowie bei der absteigenden Richtung des Stromes den nämlichen Charakter. Die Myogramme (NN 3 und 4), von welchen das erstere bei einer absteigenden und das zweite bei einer aufsteigenden Richtung des intermittirenden Stromes

erhalten wurde, illustriren die beschriebene Erscheinung aufs Anschaulichste.

Die obere Linie wird vom Muskel gezogen, die mittlere bezeichnet die Momente der Reizung, wobei die Erhebung der Linie der Schliessung und die Senkung derselben der Oeffnung des intermittirenden Stromes entspricht. Die untere Linie stellt die Zeit dar, wobei jede Zacke einer Secunde entspricht. Neben den Strecken jedes Myogramms, die den Reizungsperioden entsprechen, wird mittelst eines Pfeiles der Charakter des auf den Nerven wirkenden Stromes bezeichnet. Der punktirte Pfeil bedeutet, dass ein intermittirender Strom zur Reizung dient und dass seine Stösse die nämliche Richtung besitzen, wenn der Pfeil nur nach einer Seite gerichtet, oder eine abwechselnd entgegengesetzte, wenn er zu gleicher Zeit nach beiden Seiten gerichtet ist. Die Richtung des Pfeiles von oben nach unten bezeichnet eine absteigende und von unten nach oben eine aufsteigende Richtung des reizenden Stromes.

Wir sehen, dass von den 6 Reizungsproben, welche auf jedem Myogramm von einem Effect begleitet wurden, die beiden ersten und die beiden letzten, bei denen einzelne Stromstösse eine und dieselbe Richtung besassen, im Beginn der Reizung Einzelzuckungen bewirkten, während die beiden mittleren, wo zur Nervenreizung ein Strom mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung einzelner Stösse diente, einen starken Tetanus verursachten.

Man könnte sich eigentlich auf diese 6 Proben beschränken. Wir sehen jedoch auf den angeführten Myogrammen, dass bei jedem Versuche noch zwei Proben angestellt wurden (die durch zwei Punkte bezeichnet sind), welche ein negatives Resultat, d. h. eine totale Abwesenheit jeder Spur von Muskelcontraction gaben. Diese Proben haben folgende Bedeutung:

Im Capitel II wurde gesagt, dass ich sowohl vor dem Beginne als nach der Beendigung jedes Versuches die Aufstellung des Unterbrechers prüfte, um mich zu überzeugen, ob sie nicht derart verändert sei, dass der reizende Strom aus einem intermittirenden in einen constanten übergehe. Zu diesem Zwecke musste ich die Platten des Schlüssels H (s. Fig. 5, S. 21) nach rechts verschieben und horchen, ob im Telephon nicht etwa ein Ton zu hören sei. Wie wir wissen, blieb bei einer solchen Lage der Platten der Stromkreis beider Batterien B und B' geöffnet, so lange der Unterbrecher richtig aufgestellt war, und wurde sogleich geschlossen, sobald in ihrer Thätigkeit Unregelmässigkeiten eintraten, welche in einem Zusammenfliessen mehrerer nacheinander folgender Stromstösse bestehen. In Folge dessen diente die Abwesenheit eines Tones im Telephon als ein unzweifelhafter Beweis, dass den Schwingungen des Hammers in der That Stromunterbrechungen entsprechen.

Bei einer solchen Prüfung bedienten wir uns also des Telphons als eines Mittels, um das Vorhandensein des Stromes zu entdecken; wir können aber selbstverständlich zu diesem Zwecke auch den Nerven verwenden, der in Bezug auf die Empfänglichkeit gegen die Ströme dem Telephon nicht nachgiebt. Dazu genügt es nur, dem möglicher Weise erscheinenden Strome nicht mehr zum Telephon, sondern zu dem Nerven Zugang zu geben. Die zwei letzten Proben auf den angeführten Myogrammen wurden gerade behufs einer solchen Prüfung angestellt; ihr negatives Resultat dient als Beweis der befriedigenden Wirkung des Unterbrechers.

§ 2. In den beschriebenen Versuchen diente zur Reizung ein schwacher Strom 1 D mit einem einige Centimeter langen Draht des Rheochordes. Wenn wir aber den Strom verstärken, so bekommen wir bei der Schliessung desselben nicht mehr eine Anfangszuckung, sondern

einen Tetanus, der während der ganzen Reizung dauert. Eine solche Erscheinung wird wiederum gleicherweise bei beiden Richtungen des reizenden Stromes beobachtet. Die Myogramme NN 5 und 6 wurden nämlich bei derartigen Versuchen erhalten.

Im Anfange jedes von den Myogrammen ist die Zahl der in die Kette eingeführten Elemente, sowie auch die Richtung des reizenden Stromes angezeigt (ich muss bemerken, dass jedes Zeichen, das im Anfange der gegenwärtigen, als auch aller weiter folgenden Myogramme angebracht ist, sich auf sämmtliche Reizproben bezieht, welche während des gegebenen Versuches ausgeführt wurden). Unter den Strecken der Myogramme, die den Reizungsperioden entsprechen, wird die Länge des eingeführten Rheochorddrahtes in Centimetern angeführt. Wir sehen, dass von den 6 Reizungsproben, welche von einem deutlichen Effect begleitet wurden, die zwei ersten und die zwei letzten, die bei einer schwachen Reizung ausgeführt wurden, Anfangszuckungen und die zwei mittleren, wo die Stärke des reizenden Stromes schon bedeutender war, einen anhaltenden Tetanus gaben. Die Verstärkung des Stromes wurde durch das Herausnehmen des ersten Rheochordstöpsels erlangt, was etwa der Verlängerung des eingeführten Drahtes um 100 cm entsprach. Die zwei letzten Proben, die ein negatives Resultat gaben, haben die oben beschriebene Bedeutung einer Durchprüfung der Thätigkeit des Unterbrechers.

§ 3. In den oben angeführten Versuchen war die Verstärkung des Stromes so bedeutend, dass wir von einer Einzelzuckung plötzlich zu einem starken Tetanus übergingen. Indem ich der Reihe nach Proben bei einer allmälig wachsenden Stärke des reizenden Stromes anstellte, bekam ich Erscheinungen, welche am Anschaulichsten durch die Myogramme NN 7 und 8 erläutert werden können. Jedes von ihnen besteht aus mehreren Proben der Reizung des Nerven durch einen allmälig sich verstärkenden intermittirenden Strom von absteigender (No. 7) und aufsteigender (No. 8) Richtung.

In diesen Versuchen beobachten wir den allmäligen Uebergang von einer einzelnen Anfangszuckung zu einem anhaltenden Tetanus. Nach den ersten Proben, welche Anfangszuckungen bewirkten, bekommen wir Tetani von eigenthümlichen Charakter: obgleich nach dem Beginnen der Reizung der Muskel sich als stark contrahirt erweist, gleichsam wie bei einem maximalen Tetanus, so lässt doch die Contraction schnell nach und fällt bis auf Null, trotz der fortdauernden Wirkung des intermittirenden Stromes. Derartige Tetani, die mit vollem Rechte Anfangstetani genannt werden können, erweisen sich zuerst als sehr kurze, die schon in den ersten Reizungsmomenten auf Null sinken, so dass sie sich nur wenig von den einfachen Anfangszuckungen unterscheiden; später werden sie allmälig anhaltender und fallen nicht so rasch, bis sie endlich den Charakter gewöhnlicher anhaltender Tetani annehmen.

Die Anfangstetani zeichnen sich, wie es die Myogramme zeigen, ausser der Neigung rasch auf Null zu sinken, noch durch ihre Unregelmässigkeit aus: äusserst selten geht das Sinken in der Art einer Curve

vor, welche ununterbrochen zur Abscisse abfällt, in den meisten Fällen aber beobachtet man einen raschen und unregelmässigen Wechsel der Erhebungen und der Senkungen der Tetanuscurve, so dass diese letztere in Form einer gebrochenen Linie mit unregelmässigen Zacken erscheint. Eine derartige Curvenform hängt wahrscheinlich von einigen Unregelmässigkeiten in der Thätigkeit des Unterbrechers ab, welche gänzlich kaum zu vermeiden sind. Indem solche Unregelmässigkeiten bei starken und schwachen Strömen, die entweder eine Anfangszuckung oder einen anhaltenden Tetanus bewirken, sich nicht äussern können, machen sie sich bei mittleren Reizungsstärken, wo, so zu sagen, ein Kampf zwischen der Ruhe und der Erregung stattfindet, geltend.

Wenn man in den beschriebenen Versuchen die Stärke des reizenden Stromes noch weiter vergrössert, indem man z. B. den ganzen Widerstand des Rheochordes einschaltet, bekommt man keine weitere Veränderung der Erscheinungen, d. h. es werden stets anhaltende Tetani beobachtet, welche während der kurzen Reizungsperioden, wie sie bei unseren Versuchen gebraucht wurden, keine irgend merkliche Neigung zum Sinken äussern. Denselben Effect beobachtet man auch bei der Reizung durch starke absteigende Ströme (4 D ohne Rheochord und stärker).

Wenn wir alles bis jetzt Gesagte über die Reizungseffecte des Nerven durch verhältnissmässig kurze (Secunden-) Schliessungen des intermittirenden Stromes zusammenfassen, so können wir folgenden Satz aufstellen, als eine allgemeine Folgerung aus den beschriebenen Versuchen.

Erster Satz. Bei einer kurzen Reizung des normalen Nerven durch eine Reihe von Stromstössen von einer und derselben Richtung und mit minimalen Unterbrechungen, gleichviel, ob der intermittirende Strom eine absteigende oder eine aufsteigende Richtung besitzt, bekommt man bei sehr schwachen Strömen (1 D mit 1—10 cm des Rheochordes) bloss eine Anfangszuckung, bei etwas stärkeren einen Anfangstetanus, welcher mit der wachsenden Stromstärke immer anhaltender wird und sich endlich in einen anhaltenden, während der ganzen Reizung fortdauernden Tetanus verwandelt; dagegen bei der Wirkung einer Reihe von Stromstössen auf den Nerven, welche eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben, bekommt man bei den verschiedenartigsten Stromstärken nur Tetani und keine Spur von Anfangszuckungen.

Die Erscheinungen, wie sie eben beschrieben sind, werden mit vollkommener Regelmässigkeit beobachtet. Der Unterschied zwischen den einzelnen Fällen besteht nur darin, dass die Scala der Stromstärken, bei

denen man Anfangszuckungen und Anfangstetani bekommt, bei verschiedenen Versuchen eine verschiedene Breite hat: einmal beobachtet man diese Erscheinungen bei Stromstärken, welche einem viele Centimeter langen Rheochorddraht entsprechen, ein anderes Mal können sie nur bei Bruchtheilen eines Centimeters erreicht werden.

Der Grund der Inconstanz in dieser Hinsicht liegt wahrscheinlich in einer in verschiedenen Fällen ungleichen Aufstellung des Unterbrechers. Im Capitel II (siehe S. 36) sahen wir, dass bei Aufstellung des Unterbrechers auf die minimale Grösse der Unterbrechungen, die letzteren keineswegs eine streng bestimmte Dauer haben. Und doch übt die Dauer der Unterbrechungen, wie es die späteren Versuche mir bewiesen haben, einen sehr grossen Einfluss auf die zu beschreibenden Erscheinungen aus.

Die Versuche über den Einfluss der Dauer der Unterbrechungen wurden auf eine zweifache Weise angestellt, dem zweifachen Verfahren entsprechend, welches im Capitel II in Bezug auf die Veränderung der Unterbrechungsdauer beschrieben wurde.

§ 4. In der ersten Reihe der Versuche verfuhr ich auf folgende Art und Weise. Nachdem ich die maximale Stromstärke bestimmt hatte, die bei der gegebenen Aufstellung des Hammers noch fortfuhr, Anfangszuckungen zu geben, veränderte ich derart die Aufstellung des Unterbrechers, dass die Dauer der Unterbrechungen sich etwas vergrösserte. Ich unterwarf den Nerven bei dieser neuen Aufstellung des Unterbrechers der Reizung und bestimmte zum zweiten Male die Stromstärke, bei welcher man noch Anfangszuckungen erhalten kann.

Wenn man die Aufstellung des Unterbrechers mehrmals nacheinander und zwar in verschiedenem Sinne verändert, so kann man sich leicht überzeugen, dass die Erscheinung der Anfangszucknng desto leichter, d. h. bei stärkeren Strömen erfolgt, je kürzer die Unterbrechungsdauer ist und umgekehrt. Bei einer allzu grossen Verlängerung der Unterbrechungen (bei l a n g e d a u e r n d e n Unterbrechungen in unserem Sinne, siehe S. 43) gelingt es gar nicht Anfangszuckungen zu erhalten, sondern nur Tetani, selbst bei ganz schwachen Strömen.

In den beschriebenen Versuchen verfuhr ich manchmal auch anders. Anstatt die jedem gegebenen Falle entsprechende Stromstärke zu bestimmen, die noch im Stande ist, die Erscheinung der Anfangszuckung zu erzeugen, liess ich die Reizungsstärke unverändert, veränderte aber die Lage des Unterbrechers in diesem oder jenem Sinne und verglich die dabei erreichten Effecte. Solche Versuche zeigten — wie man es übrigens auf Grund des Vorhergesagten auch erwarten konnte — dass ein und derselbe intermittirende Strom, je nach der Dauer seiner Unterbrechungen, entweder eine Anfangszuckung oder einen anhaltenden Tetanus

hervorzurufen vermag. Suchen wir aber die Dauer der Unterbrechungen möglichst allmälig zu verlängern, so können wir Uebergangsstufen beobachten. Diese letzteren unterscheiden sich in keiner Hinsicht von den früher beschriebenen Anfangstetani: auch hier dauern die Tetani nur während der ersten Reizungsmomente; auch hier besitzen sie denselben unregelmässigen Charakter.

§ 5. Das beschriebene Verfahren, den Einfluss der Unterbrechungsdauer zu untersuchen, erweist sich als das bequemste und das am meisten überzeugende, da wir auf diese Weise die Unterbrechungsdauer verändern und dabei alle übrigen Bedingungen der Schwingungen des Hammers ungestört lassen können (siehe S. 38). Jedoch in Folge des bei jeder neuen Aufstellung des Apparates unvermeidlichen Zeitverlustes ist dieses Verfahren zur graphischen Einregistrirung der beobachteten Erscheinungen wenig geeignet. Deshalb habe ich eine zweite Reihe von Versuchen unternommen, in welchen ich den Unterbrecher, wie es im Capitel II beschrieben wurde, der raschen Veränderung der Dauer der Unterbrechungen anpasste.

Derartige Versuche führten ein Resultat herbei, das mit dem so eben beschriebenen vollkommen identisch ist, wie es die Myogramme unter den NN 9—12 beweisen können.

Um die Myogramme NNo. 9 und 11 zu erhalten, wurde der Unterbrecher so aufgestellt, dass die Veränderung der Unterbrechungsdauer eine bedeutende Grösse erreiche; in Folge dessen entstand statt einer Anfangszuckung bei minimalen Unterbrechungen (m) ein anhaltender Tetanus bei deren Vergrösserung (d). Auf den Myogrammen NNo. 10 und 12 bedingte die Verlängerung der Unterbrechungen, indem sie nicht so bedeutend war, nur einen Uebergang der Anfangszuckung in einen Anfangstetanus.

Auf Grund der in den beiden letzten Paragraphen beschriebenen Versuche kommen wir also zu folgendem Satz:

Zweiter Satz. Die Stromstärken, welche bei der Aufstellung des Unterbrechers auf die minimale Unterbrechungsgrösse eine einzelne Anfangszuckung hervorrufen, bewirken, bei allmäliger Verlängerung der Unterbrechungsdauer, dieselbe Reihe verschiedener Tetanusformen, die bei einer allmäligen Verstärkung des intermittirenden Stromes mit minimalen Unterbrechungen entsteht, d. h. es entstehen zuerst kurze Anfangstetani, welche mit der Vergrösserung der Unterbrechungsdauer immer länger und länger werden, bis sie endlich in anhaltende, während der ganzen Nervenreizung dauernde Tetani übergehen.

Bis jetzt beschrieben wir solche Versuche der Nervenreizung, wo die letztere jedesmal eine verhältnissmässig kurze Zeit dauerte (einige

Secunden); indessen wäre es sehr interessant zu verfolgen, welche Erscheinungen man bei einer langdauernden Wirkung des intermittirenden Stromes beobachten kann. Obgleich derartige Versuche, wie es im vorigen Capitel erklärt wurde (siehe S. 66), von einer Muskelermüdung und folglich von den mit ihr verbundenen Fehlerquellen begleitet sein müssen, entschloss ich mich dennoch im gegebenen Falle von meiner Regel abzuweichen, die zur Reizung nur kurze Stromschliessuugen zu gebrauchen gebietet.

§ 6. Versuche über die langdauernde Nervenreizung wurden von mir nicht nur bei schwachen intermittirenden Strömen (unter 1 D) beider Richtungen, sondern auch bei starken absteigenden angestellt.

Eine anhaltende Reizung durch einen Strom von solcher Stärke, bei welcher Anfangszuckungen oder Anfangstetani entstehen, ruft keine neuen Erscheinungen hervor: sobald der Muskel in den Zustand der Ruhe gekommen ist, so verbleibt er darin, wie lange auch (während vieler Minuten) die Wirkung des intermittirenden Stromes auf den Nerven dauern mag.

Bei einer langdauernden Reizung des Nerven durch alle möglichen Stromstärken, die in den früheren Versuchen anhaltende Tetani gaben, beobachtet man in allen Fällen ungefähr dieselben Erscheinungen. Die dabei erhaltenen Tetani haben folgenden Charakter: anfangs steht der Tetanus einige Zeit auf der Maximalhöhe, dann sinkt er sehr langsam und besitzt einen ununterbrochenen Charakter, sodass in diesem Zeitraum der mit dem Muskel verbundene Hebel eine gerade Linie ohne Zickzack schreibt. Sodann beginnt die Tetanuscurve beständige Schwankungen zu äussern und erscheint in Gestalt einer gebrochenen Linie von sehr eigenthümlicher Form. Diese Tetanusschwankungen gleichen denjenigen vollkommen, die früher bei den Anfangstetani beschrieben wurden, mit dem einzigen Unterschiede, dass sie viel länger dauern. Unmittelbar nach dem Beginne der Schwankungen folgt eine rasche Senkung der Tetanuscurve, dank welcher sie sich immer mehr und mehr der Abscisse nähert. Diese Senkung der Tetanuscurve dauert so lange, bis der Muskel in den Zustand einer vollkommenen Ruhe geräth, in welchem er nun, der fortdauernden Reizung ungeachtet, verbleibt.

Zur Erläuterung des eben Gesagten führe ich einige Beispiele (NNo. 13, 14, 15 und 16) an. Auf allen Myogrammen entspricht die erste Reizprobe (auf den ersten zwei Myogrammen ist der Anfangsmoment der Reizung nicht angegeben) einer anhaltenden Reizung des normalen Nerven durch einen intermittirenden Strom, dessen Richtung und Stärke neben jedem Myogramm bezeichnet sind. Die Resultate dieser ersten Probe bedürfen nach dem Gesagten keiner weiteren Beschreibung. Nach der Beendigung der ersten Probe wurde der Nerv einer neuen Reizung unterworfen; davon wird aber später berichtet werden.

§ 7. Nachdem der Tetanus aufgehört hat und der Muskel in den

Zustand völliger Ruhe gekommen ist. kann wiederum ein starker Tetanus hervorgerufen werden, wenn wir, ohne die Reizung zu unterbrechen, die Dauer der Unterbrechungen verlängern. Der dabei entstehende Tetanus dauert so lange, als die Dauer der Unterbrechungen verlängert bleibt, und hört wieder auf, sobald dieselbe ihre frühere Minimalgrösse erreicht. Eine derartige abwechselnde Veränderung der Unterbrechungsdauer wurde auf den oben angeführten Myogrammen NN 13 u. 14 bewirkt.

Der Anfangsmoment der Reizung wurde auf ihnen nicht angezeigt, da er durch den Anfang des Tetanus entschieden genug bezeichnet ist. Die begonnene Reizung dauerte ununterbrochen während des ganzen Versuches. In denjenigen Momenten, welche durch Sinken der zweiten Linie bezeichnet sind, wurde die Dauer der Unterbrechungen vergrössert und in denen, die durch ihr Erheben bezeichnet sind, wurde dieselbe wiederum verkürzt. Die Buchstaben m und d bezeichnen die Perioden der Nervenreizung durch einen Strom mit minimalen (m) und mit ausgedehnten (d) Unterbrechungen.

Auf Grund der beschriebenen Versuche können wir folgenden Satz aufstellen.

Dritter Satz. Bei jeder anhaltenden Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit minimalen Unterbrechungen hat die Muskelreaction den Charakter eines Anfangstetanus, sodass der im Anfange der Reizung stark contrahirte Muskel, der fortdauernden Wirkung des Stromes ungeachtet, früher oder später in den Zustand der vollen Ruhe kommt, aus welchem er jedoch wieder in den Zustand einer starken Contraction versetzt werden kann, sobald die Dauer der Unterbrechungen verlängert wird.

Wenn wir also früher (erster Satz) auf einen Unterschied zwischen dem Anfangstetanus und dem Tetanus, welcher während der ganzen Reizung dauert (anhaltender Tetanus), hinwiesen, so müssen wir jetzt den bezeichneten Unterschied nur als einen rein quantitativen betrachten: die Tetani dauerten während der ganzen Reizung nur, weil diese Dauer eine geringe Grösse besass. Dessen ungeachtet werde ich auch im Folgenden fortfahren, die Anfangstetani und die anhaltenden Tetani einander entgegenzustellen. Ich habe nämlich in den soeben beschriebenen Versuchen mir erlaubt, von der im vorigen Kapitel gegebenen Regel abzuweichen, nach welcher nur kurze (einige Secunden dauernde) Reizungen gebraucht werden müssen; in allen weiteren aber befolgte ich diese Regel systematisch. In Folge dessen werde ich unter den Anfangstetani nur solche verstehen, die ihren anfänglichen Charakter schon während der angezeigten kurzen Zeit deutlich offenbaren, alle übrigen werde ich dagegen anhaltende Tetani nennen.

§ 8. In allen Versuchen, welche ich in den vorhergehenden Paragraphen dieser Abtheilung beschrieb, wurden zur Nervenreizung entweder

Ströme beider Richtungen (nicht stärker als 1 D) oder starke absteigende (4 D und höher) benutzt. Ströme von mittlerer Stärke habe ich bis jetzt gar nicht gebraucht, da in diesem Falle eine vorläufige isolirende Polarisation nothwendig ist und da wir es dann nicht mit einem normalen, sondern mit einem veränderten Nerven zu thun haben.

Die Beschreibung der mit den angedeuteten Stromstärken angestellten Versuche müsste eigentlich den Gegenstand des vorliegenden Paragraphen bilden. Da jedoch die Bedingungen der Versuche, gleich wie auch die dabei ermittelten Resultate denjenigen Bedingungen und Resultaten näher stehen, die in der folgenden Abtheilung dieses Capitels dargelegt werden, so halte ich für zweckmässig, ihre Darstellung dorthin zu verlegen.

II. Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Schon bei der Untersuchung der Reizungseffecte an einem normalen Nerven begegnete ich öfters Thatsachen, die darauf hinwiesen, dass der Reizungseffect wesentlich davon abhängt, ob der Nerv vor dem Versuche einer Stromwirkung ausgesetzt wurde oder nicht. In der vorhergehenden Abtheilung habe ich diese Thatsachen nicht erwähnt, um sie hier darzustellen. Dieses erscheint um so zweckmässiger, weil im Grunde sie es waren, die mich bewogen haben, sämmtliche in der gegenwärtigen Abtheilung zu beschreibende Versuche anzustellen.

§ 9. Als ich die Effecte der Reizung des normalen Nerven durch schwache Ströme beschrieb, sagte ich, dass die Anfangszuckungen nur bei sehr schwachen Strömen (1 D mit 1—10 cm Rheoch.) erzielt werden können, bei stärkeren aber mehr oder minder lange dauernde Tetani beobachtet werden. Das Gesagte bezieht sich nur auf den Fall, wo wir zur Reizung einen vollkommen frischen Nerven gebrauchen und dabei die Zahl der Reizungen möglichst beschränken. Sobald wir aber einen und denselben Nerven mehrere Male hintereinander reizen, so bemerken wir, dass die Anfangszuckung sich mit der Zeit immer leichter und leichter erzielen lässt: Ströme, die anfangs starke Tetani erzeugten, geben jetzt nur eine Anfangszuckung und zur Erzielung eines Tetanus ist jetzt schon eine bedeutende Verstärkung der Reizung erforderlich[1].

[1]) Ich muss hier bemerken, dass ich in den vorliegenden, ebenso wie auch in allen nachfolgenden Versuchen (diejenigen natürlich ausgenommen, von denen gerade das Gegentheil behauptet wird), die Richtung des reizenden Stromes niemals verän-

Die Veränderung der Reizungseffecte unter der Wirkung der vorhergehenden Reizung ist so beträchtlich, dass sie schon nach einigen Reizungsproben bemerkbar wird.

Zur Erläuterung des Gesagten führe ich die Myogramme NN 18 und 19 an, auf welchen die Resultate von drei hinter einander folgenden Proben der Reizung des Nerven durch einen und denselben intermittirenden Strom aufgeschrieben sind. Wir sehen, dass bei den ersten Proben Anfangstetani von einer mehr oder minder langen Dauer beobachtet wurden. Bei den darauf folgenden Proben entstanden aber viel kürzere Anfangstetani oder selbst nur Anfangszuckungen.

Fahren wir fort, immer weiter und weiter die Reizung eines und desselben Nerven zu wiederholen, so kommen wir endlich dazu, dass wir Anfangszuckungen selbst bei der Einführung des ganzen Rheochorddrahtes erhalten. Reizen wir aber den Nerven durch eine Reihe von Stromstössen, welche nicht eine und dieselbe, sondern abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben, so bekommen wir jetzt sogar bei einer sehr schwachen Reizung nur Tetani und keine Spur von Anfangszuckungen. Die letzte Probe auf den oben angeführten Myogrammen wurde gerade mit der Reizung des Nerven durch eine Reihe abwechselnd entgegengesetzter Stromstösse ausgeführt.

§ 10. Analoge Thatsachen wurden von mir auch bei Versuchen mit langdauernder Reizung des Nerven durch starke Ströme beobachtet. Nach der Beendigung eines mehr oder minder anhaltenden Anfangstetanus, der bei diesen Bedingungen entsteht, erzeugt jede Wiederholung der Reizung durch denselben Strom entweder einen sehr kurzen Anfangstetanus oder sogar eine blosse Anfangszuckung. Indessen giebt die Reizung durch den Strom mit entgegengesetzt gerichteten Stössen auch jetzt wie zuvor Tetani.

Beispiele des eben Gesagten können wir auf den schon früher beschriebenen Myogrammen NNo. 15 und 16 sehen, wo die zweite und dritte Probe eine Wiederholung der Nervenreizung durch denselben Strom, der auch bei der ersten Probe wirkte, darstellen. Die vierte entspricht der Reizung durch einen Strom, dessen einzelne Stösse eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung besitzen.

§ 11. Noch viel überzeugendere Thatsachen bekam ich, als ich anfing, den Nerven nach einer vorläufigen isolirenden Polarisation durch absteigende Ströme von verschiedener Stärke zu reizen. Es erwies sich nämlich, dass es jetzt keine Möglichkeit giebt, unter den gewöhnlichen Bedingungen der Versuche mehr oder minder anhaltende Anfangstetani zu bekommen, dass man entweder blosse Anfangszuckungen oder Anfangs-

---

derte, so dass der Nerv in jedem Versuche von Anfang bis zu Ende durch einen Strom gereizt wurde, der stets die nämliche Richtung behielt.

tetani von so kurzer Dauer beobachtet, dass sie nur ihrer Höhe nach von den Anfangszuckungen unterschieden werden können.

Als Beispiele führe ich zwei Versuche unter den NNo. 20 und 21 an, bei welchen als Reizung intermittirende Ströme von 4 D (No. 20) und von 2 D (NNo. 21) dienten. Das Myogramm unter der No. 20 erfordert nach dem, was schon früher in Bezug auf die von uns gebrauchten Bezeichnungen gesagt wurde, nur die einzige Bemerkung, dass das Zeichen + auf diesem, sowie auch auf allen folgenden Myogrammen darauf hinweist, dass der Nerv einer vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt wurde. Auf dem Myogramm unter No. 21 wurde die erste von den drei dargestellten Proben vermittelst einer Reizung des Nerven durch den constanten Strom ausgeführt, um sich zu überzeugen, ob die erregende Wirkung der Anode wirklich vollkommen beseitigt war[1]). Namentlich dieser Charakter der Reizung wird durch einen ununterbrochenen (nicht durch einen punktirten) Pfeil angezeigt. Die weiteren Proben wurden schon vermittelst einer Nervenreizung durch den intermittirenden Strom ausgeführt.

Wollen wir auch bei den in Rede stehenden Bedingungen Tetani erhalten, so müssen wir entweder den einzelnen Stromstössen eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung geben oder die Dauer der Unterbrechungen verlängern. In diesem letzteren Falle erhält man trotz der gleichen Richtung der einzelnen Stösse anhaltende Tetani. Zahlreiche Beispiele werden später angeführt bei der Beschreibung der Versuche, bei denen eine vorläufige isolirende Polarisation benutzt wurde.

Auf Grund der in den drei letzten Paragraphen dargestellten Thatsachen kann der Einfluss der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom für zweifellos betrachtet werden. Dennoch sind diese Thatsachen zu der endgültigen Lösung der Frage ungenügend. Abgesehen davon, dass alle beschriebenen Beobachtungen in bedeutendem Grade einen zufälligen Charakter besitzen, sind sie noch in folgenden beiden Beziehungen unzureichend. Erstens wurden die meisten unter solchen Bedingungen ermittelt, bei denen die Veränderung der bei der Reizung entstehenden Effecte nicht mittelst einer vorläufigen Polarisation des Nerven durch einen constanten, sondern mittelst einer vorläufigen Reizung durch einen intermittirenden Strom hervorgerufen wurde. In Folge dessen, besonders nach den oben citirten (siehe S. 66) Arbeiten von Kries und Wwedensky, kann sich ein Zweifel einstellen, ob die von diesen Autoren gefundenen eigenthümlichen Eigenschaften des Muskels nicht in unseren Erscheinungen mitspielen. Zweitens, obwohl die beschriebenen Versuche die Wirkung einer gleichnamigen Polarisation auf die Reizungseffecte mehr oder weniger

---

[1]) Solche Proben, welche wie vor dem Anfange, so auch nach der Beendigung der Versuche ausgeführt wurden, benutzte ich immer, wenn ich einen Nerven gebrauchte, der einer vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt wurde, obgleich ich sie meistentheils nicht aufschrieb.

erläutern, so lassen sie die Frage über die Wirkung der Polarisation von entgegengesetzter Richtung ganz unberührt.

In Folge dessen habe ich weitere Versuche unternommen, welche speciell zur Lösung der Frage über die Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes bestimmt waren.

Im Capitel II (siehe S. 51) wurde schon das Verfahren beschrieben, mit Hülfe dessen ich die Möglichkeit erhielt, durch die gegebene Nervenstrecke nach Willkür entweder einen intermittirenden oder einen constanten Strom zu leiten. Bei diesem Verfahren stellte ich meine Versuche auf eine folgende Weise an.

Anfangs, noch vor der Polarisation, reizte ich den Nerven ein oder gewöhnlich zwei Mal durch kurze Schliessungen des intermittirenden Stromes. Nachher machte ich im Stromkreise Umstellungen, welche zur Verwandlung des intermittirenden Stromes in einen constanten nöthig waren und liess diesen letzteren durch den Nerven während einer mehr oder minder geraumen Zeit fliessen. Nachdem ich nun den Strom geöffnet und den mit dem Unterbrecher verbundenen Stromkreis in seine ursprüngliche Lage gebracht hatte, begann ich dann wiederum Proben mit der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom anzustellen. Aus der Vergleichung der Effecte, welche bei der Wirkung des intermittirenden Stromes vor und nach der Polarisation entstanden, konnte ich augenscheinlich unmittelbare Folgerungen über den Einfluss der letzteren ziehen.

Bei der Untersuchung des Einflusses der vorläufigen Polarisation musste ich natürlich die Lösung der folgenden beiden Fragen bezwecken.

A. Auf welche Weise sich die Effecte der Reizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes verändern, nachdem die zu untersuchende Nervenstrecke sich während eines gewissen Zeitraumes im Zustande des Katelectrotonus befand oder, wie wir uns weiter kurz ausdrücken werden, nach einer vorläufigen Polarisation durch die Kathode.

B. Auf welche Weise sich die Effecte der Reizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes verändern, nachdem die zu untersuchende Nervenstrecke sich während eines gewissen Zeitraumes im Zustande des Anelectrotonus befand oder, mit anderen Worten, nach einer vorläufigen Polarisation durch die Anode.

A. Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode.

Die Versuche, welche zur Lösung der ersteren der aufgestellten Fragen, d. h. zur Bestimmung des Einflusses der vorläufigen Polarisation durch die Kathode auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes unternommen wurden, habe ich bei ganz

verschiedenen Reizstärken ausgeführt. Der reizende und der polarisirende Strom besassen beständig gleiche Stärke und gleiche Richtung. Der schwächste Strom, dessen ich mich bediente, entsprach dem Strome von 1 D mit 20 cm des Rheochorddrahtes, d. h. einem Strome, der bei der Wirkung auf einen normalen Nerven, wie es früher beschrieben wurde (siehe S. 73), mehr oder minder starke Tetani erzeugt; der stärkste Strom war der Strom von 10 D. Zwischen diesen extremen Grenzen stehen Versuche, die mit dem Strom von 1 D mit 100 cm des Rheochorddrahtes, von 1 D, 2 D, 3 D, 4 D und 6 D ohne Rheochord ausgeführt worden sind. Schwächeren Strömen (1 D mit 20 und 100 cm des Rheochorddrahtes) gab ich in meinen Versuchen wie eine absteigende, so auch eine aufsteigende Richtung, bei stärkeren aber, wie es leicht zu verstehen ist, war ich genöthigt, mich mit der Beobachtung der Effecte der Reizung des Nerven nur durch absteigende Ströme zu begnügen. Bei starken und schwachen Strömen gebrauchte ich die isolirende Polarisation nur als Mittel, die ohne ihre Hülfe ermittelten Resultate zu prüfen, bei Strömen von mittlerer Stärke aber benutzte ich sie immer.

Der Unterbrecher wurde in den meisten Fällen nicht entsprechend den minimalen Unterbrechungen, sondern solchen, die im Capitel II als kurze bezeichnet wurden, aufgestellt (siehe S. 38). Eine derartige Aufstellung des Apparates war in allen Versuchen unumgänglich, wo ich die isolirende Polarisation gebrauchte, da im entgegengesetzten Falle (bei der Aufstellung auf das Minimum der Unterbrechungen) die Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom, wie wir es schon wissen, nur Anfangszuckungen erzeugen würde. Ausserdem benutzte ich eine solche Aufstellung auch in den Fällen, wo ich an demselben Nerven, an welchem schon früher die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode geprüft wurde, auch den Einfluss der Polarisation durch die Anode untersuchte: der Einfluss dieser letzteren äussert sich, wie wir weiter sehen werden, besonders entschieden, wenn die Dauer der Unterbrechungen grösser als eine minimale ist. Also wurde die Aufstellung des Unterbrechers entsprechend einer Minimalgrösse der Unterbrechungen nur selten angewandt, um so mehr als die Versuche mit längeren Unterbrechungen sich in allen Hinsichten als viel überzeugender erwiesen. Jene von den weiter angeführten Myogrammen, bei denen kurze Unterbrechungen gebraucht wurden, sind durch den an den Anfang gestellten Buchstaben k bezeichnet.

§ 12. Sämmtliche Versuche mit allen möglichen Stromstärken und bei der Aufstellung des Unterbrechers sowohl auf minimale als auf kurze Dauer der Unterbrechungen, brachten mich zu einem und demselben Resultat, welches auf folgende Weise ausgedrückt werden kann.

V i e r t e r S a t z. Mittelst einer mehr oder minder anhalten-

den vorläufigen Polarisation durch die Kathode können wir immer den Nerven in einen solchen Zustand versetzen, in welchem der intermittirende Strom mit minimalen und kurzen Unterbrechungen nicht eine tetanische Erregung, wie man sie vor der Polarisation beobachtete, sondern blos eine Anfangszuckung hervorruft.

Es ist klar, dass dieses Resultat vollkommen mit den Resultaten der Versuche übereinstimmt, die im Anfange dieser Abtheilung beschrieben wurden. Als Beweis führe ich unter den NNo. 22—27 einige Beispiele aus der grossen Anzahl der bei mir vorhandenen Myogramme an.

Sämmtliche Myogramme sind leicht ohne weitere Erklärungen zu begreifen, da jedes von ihnen den Gang des ganzen Versuches anschaulich darstellt. Ich will nur bemerken, dass der ununterbrochene Pfeil die Wirkung des constanten Stromes auf den Nerven bezeichnet, während das Zeichen + andeutet, dass der Nerv einer vorläufigen isolirenden Polarisation unterworfen wurde. Der zwischen zwei Reizungsproben angebrachte punktirte Pfeil bezieht sich gleichzeitig auf beide. Diejenigen Stellen der Myogramme, wo die dritte zackige Linie, welche die Zeit (Secunden) bezeichnet, in eine gerade Linie übergeht, zeigen, dass die Drehung des Cylinders eingestellt wurde, wobei die darüber stehenden Zahlen die Dauer des Stillstandes in Minuten angeben. Auf den meisten Myogrammen sind, ausser den Versuchen mit der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode, auch die Resultate anderer Untersuchungen dargestellt; davon wird aber weiter die Rede sein.

Von allen angeführten Versuchen will ich zunächst meine besondere Aufmerksamkeit nur zweien, nämlich den NNo. 27 und 24, widmen.

Auf dem Myogramm unter der No. 27 sehen wir, dass nach einer zwei Minuten langen Polarisation die Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom nicht Anfangszuckungen, wie es bei allen anderen Versuchen der Fall war, sondern Anfangstetani erzeugte, die sich erst nach einer neuen, zwei Minuten dauernden Polarisation in Anfangszuckungen verwandelten. Ein solcher Verlauf der Erscheinungen ist eigentlich die allgemeine Regel. Nur muss man, um denselben zu beobachten, augenscheinlich auf eine andere Weise verfahren, als wir es in den auf den Myogrammen dargestellten Versuchen thaten. Anstatt der Polarisation nämlich, die ununterbrochen sehr lange dauert, müssen wir den Nerven der Wirkung eines constanten Stromes oftmals hintereinander auf verhältnissmässig kurze Zeiträume aussetzen, und nach jeder solchen kurzen Polarisation Proben der Reizung durch den intermittirenden Strom anstellen. Bei solchen Bedingungen können wir uns in der That überzeugen, dass demjenigen Zustande, in welchem der Nerv gegen die Reizung durch eine blosse Anfangszuckung reagirt, ein Zustand vorangeht, in welchem man Anfangstetani von verschiedener Dauer bekommt.

Das Myogramm unter der No. 24 ist in folgender Hinsicht interessant. Es zeigt, dass der besondere Zustand, in den der Nerv

unter der Wirkung der vorhergehenden Polarisation geräth, sehr wenig fähig oder auch ganz unfähig ist, nach einer sogar sehr lange dauernden Ruhe spontan zu verschwinden. Auf diesem Myogramm ist ein Versuch dargestellt, in welchem nach der Beendigung der Polarisation viermal Proben der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom angestellt wurden, die von einander durch einen zehn Minuten dauernden Ruhezustand getrennt waren. Somit wirkte die letzte Reizung eine halbe Stunde nach dem Aufhören der Polarisation und dennoch rief sie eine einfache Anfangszuckung hervor, welche sich von der unmittelbar nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes erzielten gar nicht unterschied. Die Unfähigkeit des Nerven, sich von den durch eine mehr oder minder lange dauernde Polarisation hervorgerufenen Veränderungen zu erholen, tritt in Wirklichkeit noch entschiedener hervor, als es der angeführte Versuch zeigt. Ich verfüge über einige Versuche, in denen dem Nerven eine zwei Stunden lange Ruhe gegeben wurde, und dennoch gab die Reizung durch einen starken intermittirenden Strom, selbst nach Verlauf einer so bedeutenden Zeit, nur Anfangszuckungen.

§ 13. Die verschiedenen Reizungsbedingungen wirken auf die Reizungseffecte des durch die vorläufige Polarisation veränderten Nerven ganz ebenso, wie auf diejenigen des normalen Nerven.

So z. B. giebt die Reizung des veränderten Nerven durch einen intermittirenden Strom, dessen einzelne Stösse nicht eine und dieselbe sondern abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben, immer Tetani, selbst bei den schwächsten reizenden Strömen.

Ebenso bekommen wir Tetani auch bei der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom mit einer und derselben Richtung der einzelnen Stösse, wenn wir nur dabei die Dauer der Unterbrechungen genügend verlängern.

Ich führe je ein Beispiel für jeden von den zwei beschriebenen Fällen an (die Myogramme unter den NNo. 28 und 29.)

Auf den beiden Myogrammen ist der Nerv durch die vorläufige Polarisation in einen solchen Zustand gebracht, in welchem der intermittirende Strom Anfangszuckungen giebt. Die Buchstaben k und d auf dem Myogramme unter der No. 29 bezeichnen die Perioden der Nervenreizung durch einen Strom mit kurzen (k) und mit lange dauernden Unterbrechungen (d).

§ 14. Bei der Aufnahme der bis jetzt angeführten Myogramme wurde der Unterbrecher meistentheils so aufgestellt, dass die Unterbrechungen grösser als minimale waren. Jedoch habe ich auch viele Myogramme von Versuchen, in denen zur Reizung ein intermittirender Strom mit minimalen Unterbrechungen gebraucht wurde. Obgleich die Resultate dieser Versuche in qualitativer Hinsicht mit den oben beschriebenen vollkommen identisch erscheinen, so unterscheiden sie sich von

ihnen doch quantitativ. Der Unterschied zwischen den beiden Fällen äussert sich darin, dass zur Erzielung einer Anfangszuckung eine sehr kurze Polarisation genügt, wenn der Unterbrecher auf das Minimum der Unterbrechungen aufgestellt ist, während man beim Gebrauche eines intermittirenden Stromes mit kurzen Unterbrechungen für denselben Effect den Nerven viel länger polarisiren muss.

Schon auf Grund der angegebenen Thatsachen können wir zur Folgerung kommen, dass die vorläufige Polarisation, je nach ihrer Dauer, den Nervenzustand in einem sehr verschiedenen Grade zu verändern vermag, wobei jedem gegebenen Zustande eine gewisse maximale Unterbrechungsdauer entspricht, bei welcher die Erscheinungen der Anfangszuckung überhaupt noch beobachtet werden können. Je schwächer nämlich die Nervenveränderung ist, desto kürzer müssen die Stromunterbrechungen sein und umgekehrt, die Unterbrechungen können grösser sein, wenn die Nervenveränderung stärker ausgeprägt ist.

Ich kann diese Folgerung, die schon aut Grund der oben angeführten Thatsachen sehr wahrscheinlich erscheint, durch eine ganze Reihe von Versuchen bestätigen, welche folgendermaassen angestellt wurden.

Nachdem ich den Unterbrecher auf eine minimale oder eine der minimalen nahe Grösse der Unterbrechungen aufgestellt hatte, polarisirte ich den Nerven während eines Zeitraums, welcher nothwendig ist, um Anfangszuckungen bei der Wirkung des gegebenen intermittirenden Stromes zu erzielen. Hierauf veränderte ich die Aufstellung des Apparates derart, dass die Unterbrechungsdauer etwas grösser würde. Als ich den Nerven bei der neuen Aufstellung reizte, bekam ich schon Tetani, die sich nach weiterer Polarisation wieder in Anfangszuckungen verwandelten. Bei einer weiteren Veränderung der Unterbrechungsdauer erschienen wiederum Tetani, die ihrerseits mittelst einer neuen Polarisation in Anfangszuckungen verwandelt werden konnten, u. s. w. In einigen Versuchen gelang es mir die Unterbrechungsdauer mit den beschriebenen Resultaten 3 oder 4 mal hintereinander zu verlängern. Solche Versuche wurden von mir vielmals bei sehr verschiedenartigen Stärken des intermittirenden Stromes ausgeführt. Ich führe keine Beispiele an, da die Versuche ihrem Charakter nach zu graphischen Darstellungen der ermittelten Resultate nicht geeignet sind.

§ 15. Um eine, wenn auch nur annähernde Vorstellung über die Grösse zu gewinnen, bis zu welcher die Unterbrechungsdauer verlängert werden kann, ohne dass der intermittirende Strom dabei die Fähigkeit verliere, Anfangszuckungen hervorzurufen, stellte ich folgende Versuche an.

Nachdem ich den Nerven einer fünf Minuten langen absteigenden Polarisation unterworfen hatte, suchte ich eine solche Aufstellung des

Unterbrechers, bei welcher der intermittirende Strom noch Anfangszuckungen gab, aber schon bei der geringsten Verlängerung der Unterbrechungen Tetani zu geben begann. Nachdem die verlangte Aufstellung gefunden war, maass ich die Dauer der Stromunterbrechungen nach der uns schon bekannten Methode (siehe S. 35). Solcher Messungen habe ich nur drei ausgeführt, und alle drei beziehen sich auf die Reizung des Nerven durch den Strom von 4 D. Die Resultate zeigt die nachfolgende Tabelle.

Die Ablenkung des Galvanometerzeigers unter dem Einflusse		Die Frequenz der Unterbrechungen F.	Die berechnete Dauer		Das annähernde Verhältniss zwischen der Dauer der Unterbrechungen und der Stromstösse.
des constanten Stromes α.	des intermittirenden Stromes β.		jedes Stosses.	jeder Strom-Unterbrechung.	
42°	36°30′	73	0,0122	0,0015	1 : 8
40°	32°15′	102	0,0081	0,0017	1 : 5
45°	32°30′	72	0,0105	0,0033	1 : 3

Den angeführten Zahlen schreibe ich allerdings keine besondere Bedeutung zu, da die Methode, mittelst welcher die verlangte Aufstellung des Unterbrechers erreicht wurde, äusserst grob ist. Auf die Ungenauigkeit der Methode weist schon der wesentliche Unterschied zwischen den erlangten Resultaten hin. Die ganze Bedeutung dieser letzteren beschränkt sich also darauf, dass sie uns eine Vorstellung über die Unterbrechungsdauer geben, bei welcher noch allenfalls Anfangszuckungen erreicht werden können. Wie leicht zu ersehen ist, übertrifft diese Dauer im letzten Versuche wesentlich diejenige, der wir im Capitel II die Benennung einer kurzen gaben.

B. Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode.

Jetzt gehe ich zu den Versuchen über, die auf die Lösung der zweiten von den im Anfange dieser Abtheilung gestellten Fragen berechnet sind, nämlich der Frage, auf welche Weise die vorläufige Polarisation durch die Anode auf die Erscheinungen der Nervenerregung durch die Kathode des intermittirenden reizenden Stromes einwirkt. Bei diesen Versuchen besassen der reizende und der polarisirende Strom, im Gegensatz zu den oben beschriebenen, nicht die nämliche, sondern die entgegengesetzte Richtung.

Die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode erwies sich complicirter, als die entsprechende Wirkung der Polarisation durch die Kathode, da unter verschiedenen Bedingungen Erscheinungen beobachtet wurden, die sich von einander nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ unterschieden.

Vorerst hat es sich als nothwendig erwiesen, bei der Untersuchung zweierlei Fälle zu unterscheiden, je nach dem Nervenzustande, der für uns als Ausgangspunkt in unseren Versuchen diente. Wir können nämlich zur Untersuchung entweder einen frischen, soeben präparirten, oder einen mittelst der vorläufigen Polarisation durch die Kathode veränderten Nerven benutzen. Obgleich die in beiden Fällen beobachteten Erscheinungen sehr viel Gemeinsames untereinander haben, halte ich es doch für zweckmässiger, sie gesondert zu beschreiben.

a) Versuche mit normalem Nerven.

§ 16. Bei der Anordnung der ersten, hierauf bezüglichen Versuche stützte ich mich auf die von der Mehrzahl der bekannten Thatsachen gerechtfertigte Voraussetzung, dass die Wirkung der Anode der Wirkung der Kathode entgegengesetzt sein muss. Da ich deshalb unter denjenigen Bedingungen, unter welchen vor der Polarisation nur Anfangszuckungen erhalten wurden, nach der Polarisation durch die Anode Tetani erwartete, so musste ich zur Reizung einen solchen intermittirenden Strom benutzen, welcher bei der Wirkung auf einen normalen Nerven nur Anfangszuckungen oder im äussersten Falle nur Anfangstetani giebt. Mit anderen Worten: ich musste den Unterbrecher möglichst genau auf die minimale Dauer der Unterbrechungen aufstellen und ausserdem zur Reizung sehr schwache Ströme anwenden.

Solche Versuche, bei beiden Richtungen des reizenden Stromes ausgeführt, haben meine Erwartungen vollkommen gerechtfertigt: statt der Anfangszuckungen vor der Polarisation entstanden nach ihrer Beendigung mehr oder minder starke Tetani.

Als Beispiele führe ich zwei Myogramme unter den NNo. 30 und 31 an.

§ 17. In den beschriebenen Versuchen benutzte ich zur Polarisation des Nerven denselben Strom, der zugleich zur Reizung diente, d. h. einen sehr schwachen Strom. Wenngleich ich in Rücksicht auf die von mir aufgestellte Voraussetzung über die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode keine Verstärkung des reizenden Stromes zulassen konnte (stärkere Ströme geben, wie bekannt, bei kurzen Proben der Reizung eines normalen Nerven Tetani von maximaler Höhe, die zur weiteren Verstärkung unfähig sind), so hatte ich statt dessen die volle

Möglichkeit, die Stärke des polarisirenden Stromes nach Belieben zu variiren. Solche Versuche, bei denen also zur Reizung wie früher ein schwacher Strom, zur Polarisation aber Ströme von verschiedener Stärke gebraucht wurden, haben theils die im vorigen Capitel beschriebenen Resultate bestätigt, theils gezeigt, dass die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode bedeutend complicirter ist, als man anfangs vermuthen konnte. Es hat sich nämlich erwiesen, dass es nothwendig ist, wenn nach der Polarisation Tetani erzielt werden sollen, dass die Dauer der Polarisation eine gewisse, mit der vermehrten Stärke des Stromes abzunehmende Grösse nicht überschreite. Sonst erzeugt der intermittirende Strom nach der Polarisation dieselben Anfangszuckungen, die man auch vor derselben erhielt. Hat der polarisirende Strom eine bedeutende Stärke (wird z. B. ein Strom von 3D ohne Rheochord gebraucht), so beobachtet man die zweite Erscheinungsphase schon nach einer kaum 10—15 Secunden dauernden Polarisation; wollen wir also unter solchen Bedingungen statt Anfangszuckungen Tetani erhalten, so müssen wir die Dauer der Polarisation auf einige Secunden beschränken. Aus diesen Versuchen musste ich also schliessen, dass man in der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode zwei Phasen unterscheiden muss, von denen nur die erstere eine Erzielung der tetanischen Reaction bei der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom befördert.

Auf Grund der beschriebenen Versuche liegt der Gedanke nahe, dass vielleicht die Wirkung der Polarisation in der zweiten Phase derjenigen in der ersten gerade entgegengesetzt ist. Um darüber entscheiden zu können, unternahm ich eine Reihe von Versuchen; dabei wählte ich für den reizenden Strom eine solche Stärke, dass der Strom bei der Wirkung auf einen normalen Nerven starke Tetani hervorrufe und doch möglichst nahe denjenigen Strömen stehe, bei denen einfache Anfangszuckungen entstehen. Zur Polarisation benutzte ich einen Strom von 3 D. Der Unterbrecher wurde möglichst genau auf die minimale Grösse der Unterbrechungen gestellt.

Alle derartigen Versuche führten ein und dasselbe Resultat herbei: derselbe intermittirende Strom, der einen starken und regelmässigen Tetanus erzeugt, falls er dem normalen Nerven zugeleitet wird, beginnt nach einer Polarisation, die eine gewisse, schon verhältnissmässig kurze Zeit gedauert hat, Anfangszuckungen zu geben. Als Beispiele führe ich zwei Myogramme unter den NNo. 32 und 33 an.

§ 18. Auf diese Weise sehen wir, dass der von uns im Anfange vorausgesetzte vollständige Gegensatz zwischen der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode und die Anode in der Wirklich-

keit nicht existirt; doch kann man, bei gewissen Bedingungen nach der Polarisation durch die Anode dasselbe Resultat erreichen, welches man nach der Polarisation durch die Kathode bekommt. Indessen haben weitere Versuche gezeigt, dass zwischen beiden Fällen ein sehr grosser quantitativer Unterschied vorhanden ist.

Auf Grund aller bis jetzt im vorliegenden Capitel beschriebenen Erscheinungen müssen wir unvermeidlich zur Vorstellung kommen, dass die Form der Nervenreaction gegen einen intermittirenden Strom durch zwei Factoren bestimmt wird: einerseits durch den Zustand des zu untersuchenden Nerven, andererseits durch den Charakter des auf ihn wirkenden intermittirenden Stromes. Da einer von den zwei angezeigten Factoren, nämlich der zweite, eine unmittelbare Messung zulässt, so wird es möglich, eine recht klare Vorstellung auch über die Grösse des ersteren zu gewinnen. Nehmen wir an, dass wir vor uns zwei Nerven haben, die durch eine vorläufige Polarisation mehr oder minder verändert sind, und dass wir entscheiden müssen, welcher von ihnen in höherem Grade verändert ist, so können wir in Rücksicht auf die uns bekannte Abhängigkeit des Reizungseffects von der Stärke des reizenden Stromes einerseits (erster Satz S. 73) und von der Dauer der Unterbrechungen andererseits (zweiter Satz S. 75) die Lösung unserer Frage auf zweifache Art erreichen. Wir können nämlich erstens vergleichende Versuche anstellen mit der Reizung der beiden Nerven entweder durch Ströme, die bei einer gleichen Aufstellung des Unterbrechers verschiedene Stärke besitzen, oder zweitens durch Ströme, die eine und dieselbe Stärke besitzen, nur bei verschiedener Aufstellung des Hammers. Aus einer wie auch aus der anderen Reihe von Versuchen können Thatsachen ermittelt werden, die zur richtigen Beantwortung der aufgestellten Frage vollkommen genügen. In der That, wenn es sich aus der ersten Reihe der Versuche erweisen würde, dass der eine Nerv Anfangszuckungen nur bei einer verhältnissmässig schwachen Reizung giebt, bei einer stärkeren aber anhaltende Tetani, während der zweite Anfangszuckungen bei allen Stärken des reizenden Stromes hervorruft, so müssten wir augenscheinlich zur Ueberzeugung kommen, dass die Veränderung des zweiten Nerven schärfer ausgeprägt ist. Der nämliche Schluss müsste auch aus der zweiten Reihe von Versuchen gezogen werden, wenn wir denselben Effect, der bei der Reizung des ersten Nerven nur im Falle der Aufstellung des Unterbrechers auf eine Minimalgrösse der Unterbrechungen entsteht, nämlich die Anfangszuckungen, — bei der Reizung des zweiten Nerven durch einen intermittirenden Strom mit bedeutend längeren Unterbrechungen erzielen könnten.

Wenden wir die beiden Untersuchungsmethoden auf unseren Fall

an, so kommen wir zur Folgerung, dass die Nachwirkungen, die im Nerven nach einer anhaltenden Polarisation durch die Anode und die Kathode bleiben, quantitativ sehr verschieden sind.

So zum Beispiel, wenn wir die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode vermittelst der Versuche untersuchen, die den im vorigen Paragraph beschriebenen vollkommen analog sind, dabei aber zur Reizung des Nerven nicht einen schwachen, sondern denselben starken Strom, welcher auch zur Polarisation dient, benutzen, so bekommen wir meistentheils, selbst nach einer sehr anhaltenden (viele Minuten langen) Polarisation, die nämlichen Tetani, wie auch vor dem Anfange ihrer Wirkung. Nur selten kann man übrigens mehr oder minder kurze Anfangstetani beobachten, einfache Anfangszuckungen erscheinen höchstens als Ausnahme.

Die beschriebenen Erscheinungen beziehen sich auf denjenigen Fall in welchem der Unterbrecher auf eine minimale Grösse der Unterbrechungen aufgestellt ist. Wird er aber auf kurze Unterbrechungen aufgestellt, so wird es unmöglich, Anfangszuckungen oder kurze Anfangstetani zu bekommen, wie die Stärke und die Dauer der Polarisation auch sein mögen (wenn wir nur zur Reizung nicht ganz schwache Ströme anwenden).

Berücksichtigen wir die uns bekannte Thatsache, dass nämlich eine mehr oder minder lange dauernde vorläufige Polarisation durch die Kathode im Stande ist, jedesmal mit unveränderlicher Regelmässigkeit den Nerven in einen solchen Zustand zu versetzen, in welchem intermittirende Ströme von beliebiger Stärke und dabei mit einer sehr bedeutenden Unterbrechungsdauer einfache Anfangszuckungen erzeugen, so kommen wir zur Folgerung, dass eine anhaltende vorläufige Polarisation durch die Anode, obgleich sie ebenso fähig ist, in derselben Richtung zu wirken, dennoch diese Fähigkeit in einem viel schwächeren Grade äussert.

Wenn wir alles bis jetzt über die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode auf den normalen Nerven Gesagte zusammenfassen, kommen wir zu folgendem Schluss:

F ü n f t e r S a t z. Die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes ist der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode nur dann entgegengesetzt, wenn die Polarisation nicht lange dauert (desto weniger, je stärker der polarisirende Strom ist); bei einer längeren Wirkung des polarisirenden Stromes aber sind die Nachwirkungen, welche die Polarisation durch die Anode und durch die Kathode im Nerven hinterlässt, ihrem Charakter

nach vollkommen identisch und nur ihrer Grösse nach von einander verschieden: die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode ist bedeutend stärker als die entsprechende Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Anode.

b) Versuche mit dem durch die vorläufige Polarisation durch die Kathode veränderten Nerven.

Bei der Untersuchung des Einflusses der Polarisation durch die Anode auf einen Nerven, welcher schon der Wirkung einer vorläufigen Polarisation durch die Kathode ausgesetzt war, bekommen wir verschiedene Resultate, je nach der Aufstellung des Unterbrechers.

§. 19. Bei Versuchen mit der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit minimalen Unterbrechungen bekommen wir überhaupt keine klaren Resultate. Für einen Nerven, der mittelst einer vorläufigen Polarisation durch die Kathode in einen solchen Zustand gebracht ist, bei welchem der intermittirende Strom bloss Anfangszuckungen giebt, bleibt die weitere Polarisation durch die Anode ohne jede merkliche Wirkung: dieselben Anfangszuckungen, die man vor der Polarisation erhielt, entstehen fortwährend auch nach ihrer Beendigung. Uebrigens einige, wenn auch sehr schwache Andeutungen auf das Vorhandensein einer Wirkung der Polarisation durch die Anode können auch bei diesen Versuchen entdeckt werden. Diese Wirkung äussert sich darin, dass die Anfangszuckungen nach der Polarisation durch die Anode einen tetanischen Charakter bekommen, in einigen Fällen selbst in kurze Anfangstetani übergehen.

§ 20. Einen ganz anderen Charakter bekommen die Erscheinungen dann, wenn die Dauer der Stromunterbrechungen grösser als eine minimale ist. Wenn wir auch jetzt zu unseren Versuchen einen Nerven anwenden, welcher von einer vorläufigen Polarisation durch die Kathode so weit verändert ist, dass die Reizung durch den gegebenen intermittirenden Strom nur einfache Anfangszuckungen hervorruft, so finden wir, dass der Gegensatz der Effecte, die nach der Polarisation durch die Kathode und die Anode entstehen, äusserst scharf bei allen möglichen Stärken des reizenden und des polarisirenden Stromes hervortritt: die Anfangszuckungen, welche man bei der Nervenreizung nach der ersten Polarisation bekommt. verwandeln sich nach der zweiten in anhaltende Tetani. Die nach der Polarisation durch die Anode entstandenen Tetani können mittelst einer neuen Polarisation durch die Kathode wiederum in Anfangszuckungen verwandelt werden; die letzteren gehen ihrerseits nach

einer neuen Polarisation durch die Anode in Tetani über u. s. w. nach der Reihenfolge, so lange es beliebt.

Die beschriebenen Versuche mit der Polarisation durch die Anode wurden in den meisten Fällen als Fortsetzung der Versuche mit der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode angestellt. Die ermittelten Resultate können wir auf den schon früher angeführten Myogrammen unter den NNo. 22, 23 und 26 sehen. Darunter ist auf dem Myogramm unter der No. 22 das Resultat einer zweimaligen Wiederholung der einen und der anderen Polarisation dargestellt.

Auf Grund der beschriebenen Versuche kann darüber kein Zweifel mehr bleiben, dass der Nerv unter der Wirkung der Polarisation durch die Anode fähig ist, sich von den Veränderungen zu erholen, welche die vorläufige Polarisation durch die Kathode hervorgerufen hatte. Wenn wir dieses Resultat mit demjenigen zusammenstellen, zu dem wir im vorigen Paragraph gekommen waren, so müssen wir doch anerkennen, dass die Erholungswirkung der Anode gewisse Grenzen hat und nicht im Stande ist, dem Nerven seine normalen Eigenschaften wieder vollkommen zu verleihen: wenn die Polarisation durch die Anode den Nerven auch so weit wiederherstellt, dass er auf den intermittirenden Strom mit kurzen Unterbrechungen durch Tetani reagirt, so ist sie doch nicht im Stande die Erholung dahin zu bringen, dass man Tetani auch bei der Reizung durch den intermittirenden Strom mit minimalen Unterbrechungen bekommen könnte. Die Unmöglichkeit, eine volle Herstellung des Nerven zu bewirken, muss augenscheinlich in Zusammenhang mit der uns schon bekannten Thatsache gebracht werden (siehe den fünften Satz), dass die Polarisation durch die Anode an und für sich schon fähig ist, im Nerven eine schwache Veränderung von dem nämlichen Charakter, wie auch die Polarisation durch die Kathode, zu verursachen.

Auf Grund des Gesagten kommen wir zu folgendem Satz:

Sechster Satz. Die Wirkung der Polarisation durch die Anode auf einen Nerven, welcher der Wirkung der Polarisation durch die Kathode schon unterworfen war, erweist sich hinsichtlich der Wirkung dieser letzteren vollkommen entgegengesetzt, so weit die erstere sämmtliche Veränderungen zu vernichten vermag, welche im Nerven nach der zweiten geblieben sind, jenen kleinen Rest ausgenommen, der schon mittelst der Polarisation durch die Anode selber hervorgerufen werden kann.

III. Wirkung der Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Nachdem ich mich durch die in der vorigen Abtheilung dargestellten Versuche überzeugt hatte, wie enorm sich die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom nach der Polarisation verändern, musste ich natürlich zur Vermuthung kommen, dass auch die Polarisation selbst nicht ohne Einfluss auf die Form der Nervenreaction bleiben kann.

Um diese Frage zu untersuchen, benutzte ich das im Capitel II beschriebene Verfahren (siehe S. 52), welches mir die Möglichkeit gab, derselben Nervenstrecke, wie einen constanten, so auch einen intermittirenden Strom zuzuleiten. Bei diesen Versuchen verfuhr ich nun auf folgende Weise.

Zuerst, noch vor der Polarisation, reizte ich den Nerven ein oder zwei Male durch kurze Schliessungen des intermittirenden Stromes. Dann schloss ich den polarisirenden Strom (mittelst des Quecksilbernäpfchens s (siehe Fig. 9 auf der S. 53) und wiederholte die Reizung des Nerven durch denselben intermittirenden Strom von Neuem schon während der Polarisation. Aus der Vergleichung der Reizungseffecte vor und während der Polarisation konnte ich die Wirkung der Polarisation bestimmen. Um dem gemachten Schlusse eine grössere Glaubwürdigkeit zu verleihen, beschränkte ich mich nicht ausschliesslich auf die zwei beschriebenen Reizungsproben — vor und während der Polarisation — sondern fügte stets eine dritte hinzu, welche schon nach Beendigung der Polarisation ausgeführt wurde, so dass auf den bei mir vorhandenen Myogrammen die während der Polarisation erhaltenen Reizungseffecte zwischen denjenigen, welche vor und nach derselben bekommen wurden, aufgeschrieben sind. Oefters beschränkte ich mich auch darauf nicht, sondern setzte den Versuch noch weiter fort und stellte Reizungsproben bei wiederholter Schliessung und Oeffnung des polarisirenden Stromes an.

Die beschriebene Art der Versuche erweist sich somit mit derjenigen vollkommen identisch, deren man sich gewöhnlich beim Demonstriren der Pflüger'schen Erscheinungen der Veränderung der Reizungseffecte unter dem Einflusse des constanten Stromes bedient. Der einzige Unterschied zwischen ihnen besteht darin, dass ich zur Reizung und zur Polarisation eine und dieselbe, nicht aber zwei benachbarte Nervenstrecken benutzte, wie dies bei Pflüger's Versuchen der Fall war. Natürlich konnte auch ich in meinen Versuchen die beiden Ströme zwei verschiedenen Nervenstrecken zuleiten, ich zog jedoch die beschriebene Unter-

suchungsmethode vor, da ich nur so die Möglichkeit hatte, die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode und durch die Anode des intermittirenden Stromes streng von einander zu isoliren. Dazu brauchte man nur in allen Fällen, wo den Bedingungen der Versuche gemäss das Erscheinen einer Erregung an der Anode zu erwarten war, die vorläufige isolirende Polarisation zu benutzen.

Bei den Versuchen mit der Wirkung der Polarisation musste ich, wie auch in der vorhergehenden Abtheilung, folgende zwei Fragen zu beantworten suchen:

A. Wie wirkt die Polarisation durch die Kathode auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes und

B. Wie wirkt die Polarisation durch die Anode auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Der Beschreibung der darauf gerichteten Versuche muss ich einige Bemerkungen über diejenigen Bedingungen vorausschicken, denen zu genügen ist, wenn wir die Erscheinungen in einer mehr oder minder entschiedenen Form beobachten wollen, ohne dabei in einen Fehler zu verfallen und die Wirkung einer Polarisation dort zu verkennen, wo sie in Wirklichkeit existirt. Diese Bedingungen sind denjenigen mehr oder minder analog, die auch bei den Pflüger'schen Versuchen inne gehalten werden müssen.

Es ist allgemein bekannt, dass die Pflüger'schen Erscheinungen der Steigerung des Reizungseffectes in der Wirkungssphäre des Katelectrotonus und der Abnahme desselben in der Wirkungssphäre des Anelectrotonus nur dann beobachtet werden können, wenn man zur Reizung Inductionsschläge von entsprechender Stärke gebraucht. Diese Nothwendigkeit, in jedem gegebenen Falle die entsprechende Stärke des reizenden Schlages zu finden, folgt unmittelbar aus den Grundeigenschaften des Nerven.

Wir wissen, dass die Höhe dez Muskelzuckung und die Stärke des reizenden Inductionsschlages nicht einander proportional oder besser gesagt, dass sie nur in sehr engen Grenzen der Reizungsscala einander proportional sind. Einerseits bleiben sämmtliche Stromstärken, die unter der sogenannten Reizschwelle liegen, überhaupt wirkungslos, und andererseits erzeugen alle Stromstärken, welche die zur Hervorrufung einer maximalen Zuckung nöthige (verhältnissmässig unbedeutende) Stärke übertreffen noch Zuckungen von derselben Maximalhöhe. Somit kann man die Verstärkung und die Abschwächung des Effectes in ihrer Abhängigkeit von der Verstärkung und der Abschwächung des reizenden Stromes nur dann beobachten, wenn die Reizstärke in diesen äusserst engen Grenzen schwankt. Im entgegengesetzten Falle bleiben selbst die

mächtigsten Veränderungen der Reizstärke ohne Einfluss auf die Höhe der Muskelzuckung.

Ebenso wissen wir, dass die Pflüger'schen Erscheinungen des physiologischen Electrotonus sich nicht in einer Verstärkung oder Abschwächung der möglichen Maximalhöhe der Zuckung äussern, sondern nur darin, dass die minimalen und die maximalen Zuckungen in der Wirkungssphäre des Katelectrotonus schon bei einer schwächeren Reizung und in der Wirkungssphäre des Anelectrotonus nur bei einer stärkeren Reizung zu erscheinen beginnen. Mit anderen Worten rückt der enge Theil der Scala der Stromstärken, auf dessen Ausdehnung die Veränderung der Reizstärke eine Veränderung der Höhe der Muskelzuckung bewirkt, mehr oder minder nach der Seite der schwächeren Ströme, wenn der Nerv sich im Zustande des Katelectrotonus befindet, uud nach der Seite der stärkeren, wenn er in den Zustand des Anelectrotonus versetzt ist.

Hieraus ist es ersichtlich, dass ein allzustarker Inductionsschlag selbst im Anelectrotonus eine maximale Zuckung zu geben vermag, gleichsam wie ein allzu schwacher Schlag, welcher in der Sphäre des Katelectrotonus angelegt ist, dennoch ganz ohne Effect bleiben kann. Daraus folgen auch die Regeln, die bei der Auswahl der Stärke des reizenden Stromes befolgt werden müssen, wenn man die Pflüger'schen Erscheinungen in einer möglichst scharf ausgeprägten Form erhalten will. Namentlich um die Verstärkung des Reizungseffectes im Gebiete des Katelectrotonus zu zeigen, ist es am zweckmässigsten, solche Inductionsschläge zu benutzen, welche eben noch unter der Reizschwelle des unpolarisirten Nerven liegen. Ebenso muss, wenn wir die Abschwächung des Reizungseffectes im Anelectrotonus zeigen wollen, der reizende Schlag die schwächste Intensität haben, bei welcher er gerade noch die Fähigkeit besitzt, maximale Zuckungen zu ergeben. Treffen wir eine richtige Auswahl der Reizintensität, so können wir bei den Pflüger'schen Versuchen, je nach dem Charakter der Polarisation, entweder einen Uebergang von völliger Ruhe zu der maximalen Zuckung oder umgekehrt von der maximalen Zuckung zu völliger Ruhe bekommen.

Den soeben beschriebenen ganz analoge Verhältnisse existiren auch in unseren Versuchen mit der Wirkung der Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom.

Sämmtliche bis jetzt in diesem Capitel dargestellte Versuche müssen uns überzeugen, dass die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strvm sowohl von der Intensität desselben, als auch von der Unterbrechungsdauer abhängen. Diese Abhängigkeit ist in vielen Beziehungen derjenigen ähnlich, welche zwischen der Stärke des reizenden

Inductionsschlages einerseits und der Höhe der entstehenden Muskelzuckung andererseits besteht.

Wir haben gesehen, dass die Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom je nach den Bedingungen des Versuches entweder eine einfache Anfangszuckung, oder einen anhaltenden Tetanus[1]), oder endlich Uebergangsformen — Anfangstetani von verschiedener Dauer — hervorrufen kann. Namentlich dieser Uebergang von Anfangszuckungen zu anhaltenden Tetani, welchen eine allmälige Veränderung des Charakters des intermittirenden Stromes hervorruft, kann mit der Veränderung der Zuckungshöhe von Null bis zur Maximalgrösse bei der allmäligen Veränderung der Stärke des reizenden Inductionsschlages verglichen werden. Dabei entspricht der intermittirende Strom von solcher Beschaffenheit (d. h. von solcher Stärke und solcher Unterbrechungsdauer), bei welcher die ersten Spuren des Ueberganges der Anfangszuckungen in Anfangstetani beobachtet werden, offenbar derjenigen Stärke des Inductionsschlages, bei welcher die ersten Spuren von Erregung zu entstehen beginnen; andererseits entspricht der intermittirende Strom, bei dessen Wirkung Tetani von anhaltendem Charakter zu entstehen beginnen, einem Inductionsschlage von solcher Intensität, bei welcher man eben noch maximale Zuckungen erhält.

Diese Parallele erweist sich als vollkommen gesetzmässig, da sowohl in dem einen als in dem anderen Falle jedem gegebenen Reize nur dann eine besondere Nervenreaction entspricht, wenn der Reiz sich in den oben angezeigten Grenzen verändert; im entgegengesetzten Falle, d. h. bei der Veränderung des Reizes ausserhalb dieser Grenzen, muss diese Veränderung, wie gross sie auch sein mag, ohne jeden sichtbaren Effect bleiben. So zum Beispiel, wenn wir als Ausgangspunkt einen solchen intermittirenden Strom nehmen, bei welchem anhaltende Tetani eben zu entstehen anfangen, so werden wir doch fortwährend dieselben Tetani bekommen, wie wir auch den reizenden Strom verstärken und die Unterbrechungsdauer verlängern mögen; ganz so, wie auch bei jeder Verstärkung des Inductionsschlages, welcher schon eine maximale Zuckung giebt, nur eine Zuckung von derselben maximalen Höhe erhalten werden kann. Auf ganz dieselbe Weise können wir den intermittirenden Strom, bei welchem man Anfangszuckungen bekommt, schwächen, so viel wir wollen, oder seine Unterbrechungen verkürzen, und dennoch werden wir

---

[1]) Unter dem Worte: anhaltender Tetanus verstehe ich, wie schon früher (S. 77) bemerkt, einen solchen Tetanus, welcher eine kurze (einige Secunden lange) Reizungsperiode hindurch dauert. Nur unter dieser Bedingung kann von einem anhaltenden Tetanus die Rede sein, da wir wissen, dass bei einer lange dauernden Reizung jeder Tetanus sich in der That als Anfangstetanus erweist.

nicht im Stande sein, etwas anderes als dieselben Anfangszuckungen zu erzielen [1]). Dieses entspricht wiederum dem Falle, in welchem die Stärke des Inductionsschlages unter der Reizschwelle steht, und wo wir bei jeder beliebigen weiteren Abschwächung des Reizes fortwährend dieselbe Abwesenheit des Effectes beobachten.

Somit sind die verschiedenen Formen der Nervenreaction gegen die Reizung durch den intermittirenden Strom mit den Veränderungen des Charakters dieses letzteren genau nach demselben Gesetze verbunden, welches die Abhängigkeit der Höhe der Muskelzuckung von der Stärke des reizenden Inductionsschlages bestimmt.

Andererseits haben wir gar keinen Grund zu erwarten, dass die Polarisation des Nerven in unserem Falle von irgend welchen Grundveränderungen der Form der Nervenreaction gegen die Reizung begleitet werde. Im Gegentheil haben die Versuche gezeigt, dass alle von uns untersuchten Formen (Anfangszuckung, Anfangstetani und anhaltender Tetanus) auch während der Polarisation beobachtet werden können, so dass die Wirkung dieser letzteren sich nur darauf beschränkt, dass die eine Form in die andere übergeht. Mit anderen Worten haben wir hier dieselben Verhältnisse vor uns, wie auch in den Pflüger'schen Versuchen, wo die Reizungseffecte während der Polarisation gleichfalls keine Grundveränderungen erleiden (alle möglichen Zuckungshöhen können sowohl ohne, als auch während der Polarisation erhalten werden).

Aus dem bis jetzt Gesagten sehen wir, dass die beiden Bedingungen, welche bei den Pflüger'schen Versuchen eine sorgfältige Auswahl der entsprechenden Stärke des reizenden Inductionsstromes nothwendig machen, auch in unserem Falle in ihrem vollen Umfange vorliegen. In Folge dessen müssen wir anerkennen, dass eine ebenso sorgfältige Wahl des Charakters des intermittirenden Stromes auch bei unseren Versuchen nothwendig ist. Bei dieser Wahl müssen wir Regeln befolgen, die den entsprechenden Regeln bei den Pflüger'schen Versuchen vollkommen analog sind.

So zum Beispiel müssen wir, wenn wir beweisen wollen, dass die Polarisation im gegebenen Falle eine Verwandlung der anhaltenden Tetani in Anfangszuckungen bewirkt, zur Nervenreizung einen intermittirenden Strom von solcher Stärke und mit solcher Unterbrechungsdauer benutzen, dass die Reizung kaum noch im Stande ist, einen anhaltenden Tetanus hervorzurufen. Bei der Befolgung dieser Bedingung können wir sicher sein, dass selbst eine

[1]) Dabei vermuthe ich natürlich, dass die intermittirenden Ströme, welche man bei den Versuchen benutzt, beständig eine Stärke haben, die die Reizschwelle des Nerven übertrifft.

schwache Wirkung der Polarisation, wenn sie nur überhaupt existirt, sich in der Verwandlung des Tetanus in eine Anfangszuckung deutlich offenbaren wird. Wenn aber der Charakter des intermittirenden Stromes schon allzu sehr das Entstehen anhaltender Tetani begünstigt, so können wir auch während der Polarisation ebensolche Tetani bekommen; gleichwie die maximale Zuckung, welche man bei der Wirkung eines allzustarken Inductionsschlages bekommt, ihre Maximalhöhe auch beim Uebergang des Nerven in den Zustand des Anelectrotonus beibehalten kann. Im Gegentheil, wenn wir zeigen wollen, dass die Polarisation an Stelle der Anfangszuckungen das Entstehen von Tetani befördert, so müssen wir zur Nervenreizung solche intermittirende Ströme gebrauchen, welche kaum fähig sind, Anfangszuckungen zu ergeben. Unter dieser Bedingung können wir sicher sein, dass die erwartete Polarisationswirkung sich in einer möglichst scharfen Form äussern wird. Im entgegengesetzten Falle, d. h. wenn der Charakter des intermittirenden Stromes das Entstehen von Anfangszuckungen allzu sehr begünstigt, können wir dieselben auch während der Polarisation bekommen, ganz ebenso wie ein allzu schwacher Inductionsschlag selbst dann ohne jeden Effect bleiben kann, wenn der Nerv in den Zustand des Katelectrotonus versetzt ist.

Bis jetzt haben wir bei der Auseinandersetzung der Bedingungen, denen bei unseren Versuchen mit der Wirkung der Polarisation nothwendig genügt werden muss, ausschliesslich dem Charakter des intermittirenden Stromes unsere Aufmerksamkeit gewidmet, als ob er allein die beobachteten Erscheinungen bedinge. In Wirklichkeit aber wissen wir, dass ausser dem Charakter des Stromes auch der Zustand des Nerven eine enorme Wirkung auf die bei der Reizung entstehenden Effecte hat, so dass ein und derselbe intermittirende Strom, je nach dem Nervenzustande, entweder eine einfache Anfangszuckung oder einen anhaltenden Tetanus geben kann. In Folge dessen müssen wir zu dem, was wir schon über die Auswahl des reizenden Stromes gesagt haben, noch hinzufügen, dass der in jedem einzelnen Falle zu gebrauchende, intermittirende Strom den soeben auseinandergesetzten Bedingungen beim gegebenen Nervenzustande entsprechen muss.

Stellen wir alles oben Gesagte zusammen, so kommen wir zur Folgerung, dass die Auswahl des reizenden Stromes in unseren Versuchen viel complicirter ist, als die entsprechende Auswahl in den Pflüger-schen. Während bei den letzteren nur die entsprechende Stärke des Inductionsschlages zu wählen ist, müssen wir bei unseren Versuchen ausser der Stärke des intermittirenden Stromes auch die Dauer seiner Unterbrechungen berücksichtigen, und dabei die angedeuteten Eigenschaften des Stromes dem gegebenen Nervenzustande anpassen. Auf

welche Weise ich dieses erreichte, werde ich bei der Beschreibung der Versuche auseinanderlegen.

Nach diesen vorläufigen Bemerkungen gehe ich zur Beschreibung der Thatsachen über.

A. Wirkung der Polarisation durch die Kathode.

Bei den Versuchen, welche zur Lösung der Frage über den Einfluss der Kathodenpolarisation auf die Effecte der Reizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes dienten, mussten beiderlei Ströme, der polarisirende wie auch der reizende, augenscheinlich eine und dieselbe Richtung haben. Da ich in meiner Untersuchung die verschiedenartigsten Stärken des einen und des anderen benutzte und in Folge dessen mich sehr oft der vorläufigen isolirenden Polarisation bediente, so musste ich beiden Strömen meistentheils eine absteigende Richtung geben und nur bei verhältnissmässig schwachen Strömen hatte ich die Möglichkeit, die Versuche sowohl bei absteigender als auch bei aufsteigender Richtung anzustellen.

§ 21. Wenn man sich von den bekannten Pflüger'schen Gesetzen der Veränderung der Reizungseffecte in der Wirkungssphäre des Katelectrotonus leiten lässt, so könnte man glauben, die Wirkung der Polarisation werde sich in unseren Versuchen durch die Verwandlung der Anfangszuckungen in anhaltende Tetani äussern. In Wirklichkeit aber bekam ich ein Resultat von ganz entgegengesetztem Charakter, so dass ich auf Grund meiner sämmtlichen Versuche zu folgendem allgemeinem Satze kam:

Siebenter Satz. Die Polarisation durch die Kathode versetzt den Nerven in einen Zustand, in welchem er fähig wird, mit Anfangszuckungen gegen die Reizung durch solche intermittirende Ströme zu reagiren, die vor und nach der Polarisation anhaltende Tetani hervorrufen.

Zum Beweise dieses Satzes führe ich aus der grossen Anzahl der von mir aufgeschriebenen Versuche einige Beispiele unter den NNo. 34 bis 39 an.

Die Myogramme erfordern an und für sich keine weiteren Erklärungen. Ich will nur bemerken, dass die zweite Linie, ebenso wie auf sämmtlichen früher angeführten Myogrammen, durch ihr Steigen und Sinken die Momente der Schliessung und Oeffnung des reizenden Stromes registrirt, während die dritte auf dieselbe Weise die Schliessungs- und Oeffnungsmomente des polarisirenden Stromes anzeigt. Die Stärke und die Richtung des reizenden Stromes sind im Anfange jedes Versuches angegeben, und die des polarisirenden an denjenigen Stellen der Myogramme, welche dem Zeitraume der Wirkung dieses Stromes auf den Nerven entsprechen. Wo zum

Bezeichnen der Stromstärke nur die Zahl der Elemente angeführt wird, nicht aber die Länge des als Nebenschliessung eingeführten Rheochorddrabtes, wird darunter die Einführung des vollen Rheochordwiderstandes verstanden.

Die angeführten Beispiele zeigen, wie entschieden die beschriebene Wirkung der Polarisation hervortritt. Die ausserordentliche Schärfe der Erscheinung drückt sich auch darin aus, dass es zu ihrer Erzielung gar nicht nothwendig ist, die Bedingungen der Reizung besonders sorgfältig auszuwählen. Mit anderen Worten: selbst solche intermittirenden Ströme, die das Erscheinen des anhaltenden Tetanus in hohem Grade begünstigen, geben bei der Anwendung auf einen polarisirten Nerven dennoch einfache Anfangszuckungen. So z. B. bekommen wir bei der Aufstellung des Unterbrechers ungefähr auf eine minimale oder selbst auf eine kurze Unterbrechungsdauer in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eine scharf ausgedrückte Erscheinung selbst dann, wenn wir zur Nervenreizung die stärksten Ströme benutzen. Dies wird besonders beobachtet, wenn auch zur Polarisation mehr oder minder starke Ströme angewandt werden. Wenn es auch zuweilen vorkommt, dass die Wirkung der Polarisation sich nicht bei der ersten Probe äussert, so kann sie doch jedenfalls im weiteren Gange der Versuche leicht demonstrirt werden, wovon in einem der folgenden Paragraphen die Rede sein wird.

§ 22. Vergleichen wir das ermittelte Resultat mit demjenigen, zu welchem wir in der vorigen Abtheilung gelangten (4. Satz, S. 82), wo die Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode untersucht wurde, so kommen wir zur Folgerung, dass die Veränderung des Nerven, die man während der Polarisation beobachtet, ihrem Charakter nach mit derjenigen vollkommen identisch ist, welche nach der Polarisation bleibt. Somit ist der bekannte, von Pflüger constatirte Gegensatz der Erscheinungen im Katelectrotonus während und nach der Wirkung des polarisirenden Stromes (Erhöhung des Reizungseffectes im ersten und dessen Sinken im zweiten Falle) in unserem Falle nicht vorhanden.

Obgleich die in beiden Fällen entstehenden Veränderungen des Nerven einen ganz gleichen Charakter behalten, unterscheiden sie sich dennoch durch ihre relative Stärke: die Veränderung des Nerven während der Polarisation ist viel schärfer ausgedrückt, als die nach derselben. Die Nothwendigkeit, einen solchen Unterschied anzuerkennen, wird schon daraus ersichtlich, dass dieselbe Veränderung (die Verwandlung des anhaltenden Tetanus in eine Anfangszuckung), die während der Polarisation schon sogleich nach der Schliessung des Stromes vorhanden ist (wie es alle angeführten Myogramme zeigen), eine mehr oder minder dauernde Polarisation erfordert, um auch nach derselben beobachtet zu werden (wie es alle in voriger Abtheilung beschriebenen Versuche bewiesen haben).

In Bezug auf das Gesagte sind die Myogramme unter den NNo. 36

und 38 bemerkenswerth, insofern als hier, ausser der scharfen Veränderung des Reizungseffectes während der Polarisation, noch eine sehr merkliche Nachwirkung nach derselben beobachtet wurde.

Auf dem Myogramm unter der No. 36 ist ein Versuch dargestellt, in welchem die Schliessung des polarisirenden Stromes dreimal hintereinander gemacht wurde. Während die Nervenreizung während der Polarisation durchgängig Anfangszuckungen gab, erhielt man nach den zwei ersten Polarisationen anhaltende Tetani, und nur nach der dritten Anfangszuckungen.

Noch anschaulicher ist in dieser Hinsicht das Myogramm unter der No. 38, wo statt der anhaltenden Tetani, die der intermittirende Strom vor der Polarisation erzeugte, mehr oder minder anhaltende Anfangstetani nach der ersten, und endlich so kurze nach der zweiten Polarisation entstanden, dass man nur, dank der Höhe der Muskelverkürzung, von Anfangstetani und nicht von einfachen Anfangszuckungen sprechen darf.

§ 23. Auf Grund dessen, was bis jetzt über den besonderen Zustand, in welchen der Nerv während der Polarisation geräth, gesagt wurde, wissen wir nur, dass dieser Zustand sogleich nach der Schliessung des polarisirenden Stromes entsteht, wenigstens so weit wir darüber bei der in unseren Versuchen angewandten Methode urtheilen können. Es bleibt aber noch unerörtert, ob sich dieser Zustand in seiner vollen Kraft im Momente der Schliessung des polarisirenden Stromes entwickelt, um dann unverändert zu bleiben, oder ob er vielleicht im Laufe der Polarisation immer fortschreitet. Die Versuche beantworten die Frage in dem letzteren Sinne: im Laufe der Polarisation prägt sich der Nervenzustand, der das Erreichen der Anfangszuckungen begünstigt, immer mehr und mehr aus.

Dies lässt sich schon aus den oben angeführten Myogrammen 37 und 38 folgern.

Auf dem Myogramm unter der No. 37 gab die erste Reizprobe nach der Schliessung des polarisirenden Stromes keine Anfangszuckung, sondern einen ziemlich rasch sinkenden Tetanus. Eine weitere Reihe ohne Unterbrechung der Polarisation angestellter Reizproben gab alle Zwischenformen zwischen dem vorerst erzielten Tetanus und der einfachen Anfangszuckung. Als nach dem Entstehen einer Anfangszuckung die Polarisation unterbrochen wurde, rief die Nervenreizung wieder dieselben Tetani hervor, die auch vor der Polarisation beobachtet wurden. Auf dem Myogramm 38 wurden unmittelbar nach der Schliessung des polarisirenden Stromes zwei Reizproben angestellt, von denen die erstere einen ziemlich anhaltenden, und die zweite schon einen recht kurzen Anfangstetanus gab. Auf diese Weise zeigen diese beiden Mygramme, dass in jedem Falle desto leichter eine Anfangszuckung zu bekommen ist, je später nach der Schliessung des polarisirenden Stromes der Nerv gereizt wird.

Noch überzeugender sind die Versuche, welche wir auf folgende Weise anstellten.

Nachdem wir den Unterbrecher auf eine kurze Unterbrechungsdauer angeordnet und zur Reizung einen starken, zur Polarisation einen

schwachen Strom genommen haben, schliessen wir den letzteren und machen von Zeit zu Zeit Reizungsproben, ohne dabei den polarisirenden Strom zu öffnen. Da nun zur Reizung mit Absicht ein solcher Strom gewählt ist, der bekanntlich das Entstehen anhaltender Tetani sehr wesentlich begünstigt, so erzeugt die Nervenreizung während der Polarisation gewöhnlich anhaltende Tetani. Dies geschieht nicht nur bei der ersten, sondern auch bei einer ganzen Reihe weiterer Proben, die von einander durch bestimmte Zeitintervalle (z. B. 1 Minute lang) getrennt sind. Wenn wir, ohne die Polarisation zu unterbrechen, den Nerven fortwährend reizen, so kommen wir früher oder später dazu, dass die Nervenreizung schon beginnt Anfangszuckungen zu geben. Wird nun der polarisirende Strom geöffnet, so bekommen wir statt der Anfangszuckungen wiederum Tetani.

Der beschriebene Gang der Erscheinungen zeichnet sich durch eine vollkommene Beständigkeit aus, nur mit dem Unterschiede, dass man in einigen Fällen, nämlich wenn die Dauer der Stromunterbrechungen verhältnissmässig kurz und die Polarisation stark ist, Anfangszuckungen schon sehr rasch nach der Schliessung des polarisirenden Stromes erzielt, während in den anderen, wo die Versuchsbedingungen einen gerade entgegengesetzten Charakter haben, mehrere Minuten vergehen, bevor man die erste Anfangszuckung erhält.

§. 24. Im vorigen Paragraph wurde bewiesen, dass bei der Reizung des Nerven mit einem intermittirenden Strom, der das Erreichen anhaltender Tetani zu sehr befördert, zuweilen eine mehrere Minuten lange Polarisation nothwendig ist, damit die Reizung anstatt der Tetani Anfangszuckungen erzeuge. Ebenda wurde auch bemerkt, dass nach der Unterbrechung der Polarisation die Nervenreizung wiederum einen tetanischen Effect hervorruft. Damit war die Beschreibung des Versuchs beendigt. Wenn wir uns aber mit dem erzielten Resultate nicht begnügen und den Versuch weiter fortsetzen, wenn wir nämlich fortfahren, den Nerven abwechselnd während und nach der Polarisation zu reizen, so bemerken wir folgende eigenthümliche Erscheinung: die Schliessung des polarisirenden Stromes versetzt den Nerven sogleich in einen solchen Zustand, in welchem er gegen die Reizung durch einfache Anfangszuckungen reagirt. Mit anderen Worten: dieselbe Veränderung des Nerven, die bei der ersten Polarisation eine mehrere Minuten lange Wirkung des polarisirenden Stromes erfordert, ist bei der zweiten und den nachfolgenden Polarisationen schon gleich nach der Schliessung desselben vorhanden.

Namentlich die soeben beschriebene Erscheinung hatte ich im Auge, als ich am Ende des § 21 bemerkte, dass es möglich sei die die Anfangszuckungen begünstigende Polarisationswirkung selbst in den Fällen

nachzuweisen, wo die Nervenreizung nach der ersten Schliessung des polarisirenden Stromes, wie zuvor, fortwährend Tetani erzeuge.

In der That braucht man in diesem Falle nur die Polarisation so lange fortzusetzen, bis man endlich eine Anfangszuckung bekommt und sodann die Versuche auf die gewöhnliche Weise auszuführen: so sieht man, dass die anhaltenden Tetani, die nach der Unterbrechung der Polarisation erhalten wurden, sich jedesmal in Anfangszuckungen umwandeln, sobald man nur den polarisirenden Strom schliesst.

Leider finde ich unter den bei mir vorhandenen Myogrammen keines, auf dem der ganze Gang dieser Versuche abgebildet wäre. Deswegen bin ich genöthigt, auf diejenigen Myogramme hinzuweisen, die nur das Ende der Versuche darstellen. Zu solchen Myogrammen gehören zwei von den oben angeführten, nämlich die Myogramme unter den NNo. 36 und 39. In beiden Versuchen entstanden bei der ersten Reizprobe nach der Schliessung des polarisirenden Stromes Tetani, und man brauchte nun bis zur ersten Anfangszuckung den Nerven im ersten Versuche binnen einer, und im zweiten binnen vier Minuten zu polarisiren. Darauf wurde der polarisirende Strom geöffnet und die Versuche so fortgesetzt, wie es auf den Myogrammen dargestellt ist.

B. Wirkung der Polarisation durch die Anode.

Ich wende mich jetzt zu der Frage nach der Wirkung der Polarisation durch die Anode auf die Erregungserscheinungen an der Kathode des intermittirenden Stromes.

Bei den hierher gehörenden Versuchen besassen der reizende und der polarisirende Strom eine entgegengesetzte Richtung, wobei der erstere immer etwas stärker war als der zweite[1]).

Auf Grund äusserst einfacher Betrachtungen können wir uns überzeugen, dass unter solchen Bedingungen schon die schwächsten reizenden Ströme, die auf den Nerven während der Polarisation wirken, eine starke Oeffnungserregung hervorrufen müssen. In der That müssen wir, in Rücksicht darauf, dass in unseren Versuchen der reizende und der polarisirende Strom eine und dieselbe Nervenstrecke durchlaufen und dabei die entgegengesetzte Richtung haben, anerkennen, dass die gleichzeitige Wirkung beider Ströme der Wirkung eines einzelnen Stromes vollkommen gleich ist, dessen Stärke ihrer Differenz gleicht, dessen Richtung aber derjenigen des stärkeren, d. h. in unserem Falle des reizenden Stromes entspricht. Somit wird während der Wirkung des reizenden Stromes der

---

[1]) Im Capitel X werden wir sehen, dass unter den Bedingungen, unter denen unsere Versuche angestellt wurden, der reizende Strom eine Schliessungserregung während der Polarisation überhaupt nur dann hervorzurufen vermag, wenn er nicht schwächer ist als der polarisirende.

polarisirende vollkommen compensirt. Nur im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes findet eine plötzliche Herstellung des polarisirenden Stromes statt. Es ist daraus ersichtlich, dass eine solche Oeffnung der Schliessung des polarisirenden Stromes vollkommen entspricht, d. h. eine starke Oeffnungserregung hervorrufen muss.

Da wir die Absicht hatten diejenigen Erregungserscheinungen zu untersuchen, die ausschliesslich an der Kathode des intermittirenden Stromes stattfinden, so mussten wir in allen weiter zu beschreibenden Versuchen die vorläufige isolirende Polarisation benutzen und folglich alle Versuche nur bei einer Richtung des reizenden und des polarisirenden Stromes ausführen, nämlich bei der absteigenden Richtung des ersteren und bei der aufsteigenden des zweiten. Die Anwendung der vorläufigen isolirenden Polarisation bestimmte auch die Aufstellung des Unterbrechers. Wir wissen aus dem Vorhergehenden, dass der Nerv nach der isolirenden Polarisation auf alle Stärken des intermittirenden Stromes mit minimalen Unterbrechungen durch Anfangszuckungen reagirt. Die Möglichkeit nur Anfangszuckungen allein zu bekommen, erwies sich für mich in mancher Hinsicht als unbequem; deshalb stellte ich den Apparat auf solche Unterbrechungen auf, die eine etwas grössere Dauer hatten, d. h. auf kurze Unterbrechungen.

§ 25. Auf Grund der Voraussetzung, dass die Wirkung der Polarisation durch die Anode derjenigen durch die Kathode entgegengesetzt sein muss, musste ich erwarten, dass sie das Erhalten der Tetani bei der Reizung des Nerven durch solche intermittirende Ströme, die ohne Polarisation einfache Anfangszuckungen geben, begünstigen werde. Die Versuche rechtfertigten in der That meine Erwartungen, so dass ich das allgemeine Resultat meiner Untersuchungen über die Wirkung der Polarisation durch die Anode in folgendem Satz formuliren kann:

Achter Satz. Die Polarisation durch die Anode bringt den Nerven in einen solchen Zustand, in welchem er fähig wird mit Tetani gegen die Reizung durch solche intermittirende Ströme zu reagiren, welche vor und nach der Polarisation Anfangszuckungen hervorrufen.

Zum Beweise dieses Satzes führe ich die Myogramme unter den NNo. 40, 41 und 42 an. Wie dieselben erzielt wurden, davon wird in den nachfolgenden Paragraphen die Rede sein.

Aus der Betrachtung der angeführten Myogramme könnte man den Schluss ziehen, dass die hier bezeichnete Wirkung der Polarisation durch die Anode sich ebenso scharf äussert, wie auch die früher beschriebene entgegengesetzte Wirkung der Polarisation durch die Kathode. In Wirklichkeit ist es aber nicht so: die Polarisation durch die Anode vermag die Reizungseffecte in einem viel schwächeren Grade zu verändern.

Während die Wirkung der Polarisation durch die Kathode sich schon bei verhältnissmässig ungünstigen Bedingungen leicht nachweisen lässt, ist zum Nachweis der Wirkung der Polarisation durch die Anode eine strenge Befolgung der Regeln nothwendig, die ich ausführlich im Anfange dieser Abtheilung auseinandergesetzt habe. Mit anderen Worten wir müssen suchen, zur Reizung nur solche intermittirende Ströme zu benutzen, welche beim gegebenen Nervenzustande entweder kurze Anfangstetani geben können, oder Anfangszuckungen, die schon bei einer geringen Veränderung des Charakters der Reizung sich in Anfangstetani umwandeln.

Die Befolgung dieser Regel konnte auf zweifache Art gesichert werden. Dem entsprechend zerfällt meine Untersuchung in zwei Reihen von Versuchen, wie sie in den nachfolgenden Paragraphen beschrieben werden.

§ 26. Um dem intermittirenden Strom den gesuchten Charakter zu geben, können wir entweder auf seine Stärke oder auf die Dauer seiner Unterbrechungen wirken. Von den zwei angezeigten Eigenschaften des Stromes kann nur die erstere in grossem Maassstabe und regelmässig regulirt werden, während es vollkommen unmöglich ist, den Unterbrechungen eine Dauer zu geben, welche den Bedürfnissen jedes einzelnen Falles genau entspräche, wenigstens bei der mir zugänglichen Methode, die Unterbrechungsdauer zu verändern. In Folge dessen veränderte ich in der ersten Reihe meiner Versuche den Charakter des intermittirenden Stromes ausschliesslich dadurch, dass ich für denselben eine entsprechende Stärke auswählte (d. h. eine solche, bei welcher entweder Anfangszuckungen, die leicht in Anfangstetani sich umwandeln könnten, oder diese letzteren selbst entstehen würden) und dabei die Aufstellung des Unterbrechers unverändert liess. Nachdem eine solche Stärke ermittelt war, stellte ich den in den Kreis des polarisirenden Stromes eingeführten Rheochord R′ (s. Fig. 9, S. 53) so auf, dass der polarisirende Strom etwas schwächer wäre, als der zur Reizung gewählte intermittirende (der reizende Strom war in meinen Versuchen, wie schon früher bemerkt wurde, immer etwas stärker als der polarisirende) und stellte nachher die Versuche auf die gewöhnliche Art an, d. h. ich reizte den Nerven abwechselnd bald während, bald nach der Polarisation. Auf diese Weise entstand auch eines von den oben angeführten Myogrammen, nämlich das Myogramm unter der No. 41, welches den von uns über die Wirkung der Polarisation durch die Anode ausgesprochenen allgemeinen Satz bestätigt: wir sehen, dass dieselbe Reizung, welche ohne Polarisation Anfangstetani hervorruft, während deren Wirkung anhaltende Tetani ergiebt.

Was das angeführte Myogramm anbelangt, so muss ich noch be-

merken, dass es das am schärfsten ausgedrückte ist von allen, die es mir unter den beschriebenen Bedingungen meiner Versuche überhaupt zu bekommen gelang; meistentheils äusserte sich die Wirkung der Polarisation nur in der Umwandlung kurzer Anfangstetani in Anfangstetani von einer etwas grösseren Dauer; zuweilen erhielt ich ein vollkommen negatives Resultat, d. h. die Nervenreizung rief während der Polarisation dieselben Effecte hervor, wie auch vor und nach derselben und in einigen, sehr seltenen Fällen war die Wirkung der Polarisation der oben beschriebenen gerade entgegengesetzt. Somit würden wir nur auf Grund der beschriebenen Versuche noch nicht das Recht haben uns über den Einfluss der Polarisation in einer so bestimmten Form zu äussern, wie wir es im vorigen Paragraph im 8. Satz gethan haben. Im Gegentheil, da die Erscheinungen sehr wenig ausgeprägt und dabei nicht vollkommen regelmässig waren, so könnten wir höchstens behaupten, dass die Polarisation durch die Anode nur schwache Andeutungen der im 8. Satz dargestellten Erscheinungen hervorruft.

§ 27. Da ich aus den ersten Versuchen ziemlich verworrene Angaben hinsichtlich der Wirkung der Polarisation durch die Anode erhielt, so musste ich natürlicherweise mein Bestreben auf die Ermittelung solcher Bedingungen richten, deren Befolgung uns das Auftreten dieser Wirkung in einer schärferen Form sicherte. In der That gelang es mir nach einer ganzen Reihe vorläufiger Versuche, bei deren Beschreibung ich mich nicht aufhalten will, eine Methode auszubilden, die es ermöglichte die Wirkung der Polarisation jedesmal mit einer unveränderlichen Regelmässigkeit so anschaulich zu beobachten, wie dies z. B. das Myogramm unter der No. 40 zeigt.

Um die Erscheinungen in dieser Form zu bekommen, ist ausser einer genauen Auswahl des Charakters des reizenden Stromes noch die Befolgung folgender beiden Bedingungen nothwendig: erstens muss der polarisirende Strom eine möglichst grosse Intensität haben und zweitens muss der Unterbrecher auf eine möglichst grosse Unterbrechungsdauer aufgestellt werden. Die Wichtigkeit der ersteren Bedingung ist schon a priori klar (je stärker die Polarisation ist, desto stärker muss auch deren Wirkung sein), die Nothwendigkeit der zweiten kann nur später erklärt werden, dort nämlich, wo die Rede von der Erklärung sämmtlicher Erscheinungen der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom sein wird.

Beim ersten Blick kann es scheinen, als ob eine Anstellung der Versuche unter diesen Bedingungen unmöglich sei. Und in der That sind wir, wenn wir zur Polarisation einen mehr oder minder starken Strom gebrauchen, genöthigt, zur Nervenreizung starke Ströme zu benutzen (siehe S. 103). Diese letzteren rufen aber besonders bei der Auf-

stellung des Unterbrechers auf verhältnissmässig lange Unterbrechungen bekanntlich anhaltende Tetani hervor, während der Charakter der Versuche erheischt, dass die Nervenreizung ohne Polarisation Anfangszuckungen (oder kurze Anfangstetani) gebe. Diese Schwierigkeit lässt sich übrigens sehr leicht beseitigen.

Dort, wo die Rede von der Wichtigkeit war, für jeden gegebenen Fall einen intermittirenden Strom von entsprechendem Charakter zu wählen, wurde bemerkt, dass der intermittirende Strom den erforderlichen Effect beim gegebenen Nervenzustande erzeugen muss, mit anderen Worten, dass wir den Charakter des Reizes dem Zustande des Nerven anpassen müssen. Doch ist es augenscheinlich, dass wir auch gerade umgekehrt verfahren können, nämlich dass wir den Nervenzustand einem gewissen Reiz anpassen können. Dieses letztere ist aber mittelst der vorläufigen Polarisation sehr leicht zu erreichen. Wir wissen nämlich, dass der Nerv nach einer mehr oder weniger langen Polarisation durch die Kathode gegen die Reizung durch den intermittirenden Strom nicht mit Tetani, sondern mit einfachen Anfangszuckungen reagirt. Um die oben angedeuteten Bedingungen genau zu befolgen, ist es also vollkommen ausreichend, den Nerven vor jedem Versuche einer vorläufigen Polarisation durch die Kathode[1]) während eines genügenden Zeitraumes auszusetzen.

Gebrauchen wir die vorläufige Polarisation als ein Mittel, den Nerven in den für die Versuche nöthigen Zustand zu bringen, so müssen wir natürlich unser Bestreben darauf richten, dass die Polarisation nicht zu lange dauere, denn im entgegengesetzten Falle kann der Nerv in einen der Erzielung von Anfangszuckungen allzu günstigen Zustand versetzt werden: ein solcher Nervenzustand würde, wie es leicht einzusehen ist, eine störende Wirkung auf die Resultate unserer Versuche über die Wirkung der Polarisation durch die Anode ausüben.

Um der vorläufigen Polarisation durch die Kaihode genau die erforderliche Dauer zu verleihen, stellte ich sie an als eine Reihe verhältnissmässig kurzer (ungefähr $^1/_2$ Minute langer) Stromschliessungen, wobei ich zwischen den einzelnen Polarisationen den Nerven durch den intermittirenden Strom reizte. Bekam ich bei einer solchen Reizung einen Tetanus, so bedeutete es, dass die Polarisation noch nicht lange genug gedauert hatte und ich schloss wiederum den polarisirenden Strom; bekam ich aber eine Anfangszuckung, so betrachtete ich die Vorbereitung

---

[1]) Zur vorläufigen Polarisation durch die Kathode können wir denselben Strom benutzen, der bei den Versuchen mit der Wirkung der Polarisation durch die Anode gebraucht wird. Dazu braucht man nur mittelst des Commutators K′ (s. Fig. 9, S. 53) ihm eine gewisse Zeit lang die erforderliche Richtung zu geben.

des Nerven als vollendet und stellte sogleich Versuche mit der Wirkung der Polarisation durch die Anode an.

Namentlich diese Versuche waren es, die mich überzeugt haben, dass die Polarisation durch die Anode einen grossen Einfluss auf die Reizungseffecte ausübt; jedesmal bekam ich statt Anfangszuckungen ohne Polarisation, die stärksten Tetani während ihrer Wirkung. Als Beispiel kann das Myogramm unter der No. 40 dienen.

§ 28. Im vorigen Paragraph habe ich gesagt, dass ich für die Vorbereitung des Nerven mittelst der vorläufigen Polarisation eine Reihe verhältnissmässig kurzer Stromschliessungen gebrauchte. Ein solches Verfahren stellte in der That die Regel dar, von der ich dennoch nicht selten mehr oder weniger wesentliche Abweichungen zuliess. So z. B. öffnete ich manchmal den Strom, der zur vorläufigen Polarisation diente, nicht jede $^1/_2$ Minute, sondern liess ihn eine viel längere Zeit (1 oder 2 Minuten) auf den Nerven wirken. Zuweilen erwies sich das Resultat der nachfolgenden Versuche, trotz solcher Abweichungen, dem oben beschriebenen vollkommen gleich, in anderen Fällen aber bekam ich ein ganz negatives Resultat: während der Polarisation durch die Anode gab die Reizung des Nerven keine Tetani, sondern nur dieselben Anfangszuckungen, die auch vor der Polarisation erzielt wurden. Es liegt der Gedanke nahe, dass das Misslingen der Versuche in diesem Falle nur dadurch bedingt wurde, dass die vorläufige Polarisation durch die Kathode eine allzu grosse Dauer hatte und deshalb den Nerven in einen solchen Zustand brachte, bei welchem das Erreichen von Anfangszuckungen zu sehr begünstigt wurde.

Um auch in solchen Fällen zu beweisen, dass die Wirkung der Polarisation durch die Anode in der That nur deshalb nicht zum Vorschein kam, weil die Bedingungen dafür zu ungünstig waren, benutzte ich die uns schon aus der vorigen Abtheilung (s. S. 92) bekannte Fähigkeit der Polarisation durch die Anode dazu, die im Nerven durch die vorhergehende Kathodenpolarisation bewirkten Veränderungen zu vernichten. Ich suchte nämlich mit Hülfe der Polarisation durch die Anode gerade jenen Ueberfluss der Nervenveränderung zu neutralisiren, der nach meiner Vermuthung das Misslingen der Versuche bedingte. In der That erwies sich ein solches Neutralisiren als vollkommen ausführbar, wobei die Versuche so verlaufen mussten, wie es auf dem Myogramm unter der No. 42 dargestellt ist.

In dem auf diesem Myogramm aufgeschriebenen Versuche dauerte die vorläufige Polarisation durch die Kathode allzu lange, so dass die bei der Reizung des Nerven nach ihrer Unterbrechung bekommenen Anfangszuckungen (mit der Einregistrirung dieser Zuckungen fängt auch das Myogramm an) nicht während der Polarisation durch die Anode in anhaltende Tetani verwandelt werden konnten. Kam ich zur

Ueberzeugung, dass bei der Wirkung der Polarisation ein ganz negatives Resultat folgt, so öffnete ich den polarisirenden Strom nicht, sondern liess ihn auf den Nerven $^1/_2$ Minute lang wirken. Nach Verlauf dieser Zeit erzeugte die neue Nervenreizung schon anhaltende Tetani, deren Erscheinen als Beweis dienen konnte, dass der Ueberfluss der Nervenveränderung schon beseitigt sei und dass der Versuch ganz ebenso fortgesetzt werden konnte, wie auf dem Myogramm unter der No. 40. In der That gab eine Nervenreizung sogleich nach dem Oeffnen des polarisirenden Stromes Anfangszuckungen, die während der Polarisation sich wiederum in Tetani verwandelten u. s. w.

Der auf dem angeführten Myogramm dargestellte Gang der Erscheinungen ist absolut beständig. Der Unterschied zwischen den einzelnen speciellen Fällen äussert sich nur in der Dauer der Polarisation durch die Anode, welche nothwendig ist, um den störenden Ueberfluss der durch die vorläufige Kathodenpolarisation bewirkten Nervenveränderung zu beseitigen; je grösser dieser Ueberfluss ist, desto anhaltender muss auch die Polarisation durch die Anode sein.

Damit endigen meine Versuche über die Wirkung der Polarisation durch die Anode. Mich darauf stützend, hielt ich mich für vollkommen berechtigt den Satz aufzustellen, mit welchem ich die Beschreibung der eben erörterten Polarisation begonnen habe.

IV. Wirkung der Unterbrechungsfrequenz auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Schon im Capitel II (siehe S. 43) wurde gezeigt, dass die Frequenz der Stromunterbrechungen unmöglich verändert werden kann, ohne dass dabei die übrigen Bedingungen der Reizung gestört werden: jede Veränderung der Reizfrequenz muss unvermeidlich von einer Veränderung der Dauer der Stösse, oder der Dauer der Unterbrechungen oder endlich der einen und der anderen zugleich begleitet werden. In Folge dessen müssen wir, wenn wir eine Untersuchnng der Wirkung der Reizfrequenz vornehmen, bei der Erörterung der erzielten Resultate auf Schwierigkeiten vorbereitet sein: die Verschiedenheit der Effecte, welche bei der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom mit verschiedener Anzahl der Unterbrechungen beobachtet werden, kann entweder als das Resultat der Differenz der Reizfrequenz selber (d. h. der Anzahl der Stösse, die der Nerv in einer Zeiteinheit erhält), oder als das Resultat der Veränderung der Dauer der Stromstösse und der Stromunterbrechungen betrachtet werden. Auf diese Weise kann die Grundfrage dieser Abtheilung, nämlich die Frage nach der Wirkung der Reizfrequenz, nicht durch irgend eine Einzelreihe von Beobachtungen gelöst werden.

Ist ihre Lösung überhaupt möglich, so kann sie nur durch die Vergleichung der Resultate mehrerer Reihen von Versuchen ermittelt werden.

Den drei überhaupt möglichen Methoden die Frequenz der Reizung zu verändern entsprechend, habe ich 3 Reihen von Versuchen angestellt, in denen die Veränderung der Frequenz von folgenden Factoren abhing: 1. von der Veränderung der Dauer sowohl der Stromstösse als auch der Stromunterbrechungen, 2. von der Veränderung der Dauer der Stromunterbrechungen allein und 3. von der Veränderung der Dauer der Stromstösse allein.

Im Capitel II wurden schon die Methoden erörtert, über die ich bei der Untersuchung jedes von diesen 3 Fällen verfügte, deshalb werde ich sie weiter nur kurz erwähnen.

A. Veränderung der Reizfrequenz auf Kosten der Dauer wie der Stromstösse, so auch der Stromunterbrechungen.

Bei der ersten Reihe der Versuche verfuhr ich auf die im Capitel II unter 1. beschriebene Art, d. h. ich veränderte die Reizfrequenz, indem ich dem Hammer jedesmal eine andere Aufstellung gab. Obgleich ich bei jeder neuen Aufstellung diejenigen Regeln zu befolgen suchte, die nothwendig sind, um eine möglichst kurze Dauer der Unterbrechungen zu erzielen (ich stellte den Hammer jedesmal auf das Minimum der Unterbrechungen auf), so hatte ich dennoch gar keine Garantie, dass ihre Dauer in den einzelnen Experimenten ganz unverändert bleibe. Darum kann diese Reihe von Versuchen mit vollem Rechte als eine solche charakterisirt werden, in welcher gleichzeitig mit der Reizfrequenz auch die Dauer, wie der Stromstösse, so auch der Stromunterbrechungen verändert wurde.

§ 29. Bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit 46 bis 140 Unterbrechungen per Secunde (extreme Grenzen, zwischen denen es mir gelang, die Frequenz der Unterbrechungen mittelst meines Hammers zu verändern), bekam ich Erscheinungen, welche den in den vorhergehenden Abtheilungen dieses Capitels beschriebenen ganz ähnlich sind, d. h. bei jeder Frequenz der Unterbrechungen (46—140) reagirte der Nerv gegen die Reizung, je nach den Bedingungen der Versuche, entweder durch eine Anfangszuckung oder durch einen anhaltenden Tetanus oder endlich durch verschiedene Formen von Anfangstetani; die Bedingungen, die das Entstehen dieser oder jener Form von Nervenreaction bestimmen (Stromstärke, Dauer der Unterbrechungen, Polarisation) und der Charakter ihrer Wirkung ist mit denjenigen identisch, die wir in den vorhergehenden Abtheilungen kennen gelernt haben. Ich führe keine Beispiele an, da man sämmtliche bis jetzt beschriebene Myo-

gramme gewissermaassen als eine Bestätigung des von uns aufgestellten Satzes betrachten kann: diese Myogramme wurden bei einer, obgleich für jeden gegebenen Fall unbekannten, doch sicher verschiedenen Frequenz der Unterbrechungen (siehe das Capitel II, S. 34) erhalten.

§ 30. Obgleich die Erscheinungen, die sich bei der Nervenreizung durch intermittirende Ströme mit verschiedener Anzahl der Unterbrechungen beobachten lassen, einander sehr ähnlich sind, so kann man zwischen ihnen doch einen gewissen Unterschied bemerken, welcher besonders deutlich dann auftritt, wenn wir die Resultate vergleichen, die bei einer mittleren Frequenz der Unterbrechungen einerseits und bei der möglichst grossen oder möglichst kleinen andererseits beobachtet werden. Die Versuche haben nämlich gezeigt, dass bei der Annäherung der Frequenz der Unterbrechungen an eine der extremen Grenzen das Erzielen der Anfangszuckungen wesentlich erschwert wird: sie können jetzt nur entweder bei einer verhältnissmässig sehr schwachen Reizung oder (wenn der reizende Strom stark ist) nach einer verhältnissmässig lange dauernden vorläufigen Polarisation beobachtet werden. Wir haben jedoch kein Recht, die verhältnissmässig grosse Schwierigkeit, Anfangszuckungen in diesen Fällen zu erhalten, der Reizfrequenz selbst zuzuschreiben. Dagegen zeugt schon der Charakter der entstehenden Erscheinungen (ihre gleiche Veränderung bei der Veränderung der Reizfrequenz nach entgegengesetzten Richtungen). Dagegen zeugt auch die Möglichkeit, dieselben auf Grund der uns schon bekannten Thatsachen zu erklären. Wenn wir an das im Capitel II über die absolute Grösse der minimalen Unterbrechungen Gesagte denken und dabei besondere Rücksicht auf die dort angeführte Tabelle nehmen (siehe S. 37), so bemerken wir sogleich, dass die kürzesten Unterbrechungen namentlich für die mittlere Unterbrechungsfrequenz ermittelt wurden, während die Unterbrechungen bei Aufstellung des Unterbrechers auf eine kleinere oder grössere Anzahl der Unterbrechungen eine viel grössere Dauer hatten. Da die Effecte der Nervenreizung, wie uns schon bekannt ist, in hohem Grade von der Dauer der Unterbrechungen abhängen, so haben wir vollkommen Recht, anzunehmen, dass die Schwierigkeit, Anfangszuckungen bei einer kleinen und grossen Reizfrequenz zu bekommen, in diesen Fällen ausschliesslich von der grösseren Dauer der Unterbrechungen abhängt.

Das bei der ersten Reihe von Versuchen ermittelte Resultat muss also in Bezug auf die Frage über die Wirkung der Reizfrequenz als ein rein negatives erkannt werden.

B. Veränderung der Reizfrequenz auf Kosten der Dauer der Stromunterbrechungen.

§ 31. In der zweiten Reihe von Versuchen benutzte ich für die Veränderung der Reizfrequenz das Verfahren, welches im Capitel II unter 2 (s. S. 43) beschrieben wurde. Dieses Verfahren gestattete mir, in jedem beliebigen Momente die Anzahl der Stösse des intermittirenden Stromes auf die Hälfte zu verkleinern, wobei diese Verkleinerung vom abwechselnden Ausfalle einzelner Stösse und von dem dadurch bedingten paarigen Zusammenfliessen benachbarter Unterbrechungen abhängt. Daraus ist es ersichtlich, dass bei der Veränderung der Reizfrequenz die Dauer der Stösse die frühere bleibt und nur die Dauer der Unterbrechungen bedeutend verlängert wird. Die Unterbrechungen werden jetzt nämlich länger, als die Stösse.

Die grosse Einfachheit dieser Methode, sowie auch die Möglichkeit, sie bei derselben Anordnung der Leiter und bei derselben Aufstellung des Unterbrechers anzuwenden, welche ich in allen bis jetzt beschriebenen Versuchen gebrauchte, befreiten mich von der Nothwendigkeit, die Wirkung der Veränderung der Reizfrequenz bei diesen Bedingungen einzeln zu untersuchen. In der That war ich im Stande, bei allen in den vorhergehenden Abtheilungen beschriebenen Versuchen von Zeit zu Zeit die Zahl der Stromunterbrechungen zu vermindern und dabei die entsprechenden Veränderungen in den Erscheinungen zu beobachten.

Alle derartigen Beobachtungen haben mich zu einem und demselben Resultate geführt: sobald wir die Reizfrequenz vermindern, bekommen wir immer statt Anfangszuckungen anhaltende Tetani.

Ich führe keine Beispiele an, da dieses Resultat nichts Neues und Unerwartetes darbietet; wenn man, wie wir es früher gesehen haben, schon bei einer verhältnissmässig unbedeutenden Verlängerung der Dauer der Stromunterbrechungen anstatt Anfangszuckungen Tetani bekommt, so muss man um so mehr denselben Effect erwarten bei der verhältnissmässig enormen Verlängerung der Unterbrechungen, von der in unserem Falle die Verminderung der Reizfrequenz begleitet wird.

Auf diese Weise giebt uns auch die zweite Reihe von Versuchen keine Hinweise hinsichtlich der Wirkung der Reizfrequenz selbst.

C. Veränderung der Reizfrequenz auf Kosten der Dauer der Stromstösse.

In der dritten Reihe von Versuchen veränderte ich die Reizfrequenz nach der im Capitel II unter 3 (s. S. 44) beschriebenen Methode. In-

dem ich mich auf die von mir früher gegebene Beschreibung berufe, will ich hier nur daran erinnern, dass ich dank dieser Methode die Möglichkeit erhielt, nach Belieben eine von den auf der Fig. 8 (S. 47) unter den Buchstaben V, V′ und V V′ schematisch dargestellten Formen des intermittirenden Stromes zu bekommen. Die mit V und V′ bezeichneten intermittirenden Ströme sind fast gänzlich untereinander identisch. Der einzige Unterschied zwischen ihnen besteht darin, dass die Unterbrechungen (v und v′) ihrer Dauer nach nicht vollkommen einander entsprechen; wenigstens ist ihre Gleichheit nicht ganz streng garantirt. Der intermittirende Strom V V′ unterscheidet sich von den Strömen V und V′ dadurch, dass die Frequenz seiner Unterbrechungen zweimal grösser ist, wobei die Dauer derselben abwechselnd der Dauer der Unterbrechungen der beiden ersten Ströme gleich ist, d. h. bald v, bald v′ entspricht.

Da ich nun die Möglichkeit hatte, in jedem gegebenen Falle nachzuweisen, dass die zufälligen kleinen Differenzen der Unterbrechungen v und v′ auf die entstehenden Reizungseffecte keinen merklichen Einfluss auszuüben vermögen, so konnte ich diese Unterbrechungen praktisch für ganz gleich halten. In Folge dessen kann man den Uebergang eines von den Strömen V oder V′ zum Strome VV′ als eine Verdoppelung der Anzahl der Unterbrechungen ohne Veränderung der Dauer derselben betrachten. Die Verdoppelung erfolgt also ausschliesslich auf Kosten der Verkürzung der Dauer der Stromstösse.

Das Mittel, das ich gebrauchte, um mich in der Abwesenheit einigermaassen wesentlicher Differenzen von der Dauer der Unterbrechungen v und v′ zu überzeugen, bestand, wie schon im Capitel II gesagt wurde, darin, dass ich in jedem Versuche den Nerven durch die 3 Ströme V, V′ und VV′ nacheinander reizte, wobei nur diejenigen Beobachtungen in Betracht gezogen wurden, bei welchen die Nervenreizung durch die Ströme V und V′ einen gleichen oder wenigstens einen fast gleichen Effect bewirkte.

Auf diese Weise bestanden alle Versuche, wie sie bei mir in den Myogrammen aufgeschrieben sind, aus einer Reihe von Reizproben, welche so aufeinander folgten: Versuche der Reizung durch die Ströme V und V′ (in den Myogrammen sind sie durch die Buchstaben V und V′ angedeutet), Versuche der Reizung durch den Strom VV′ und dann eine Wiederholung der Reizung durch die Ströme V und V′. Die Reizung durch jeden Strom wurde zweimal hintereinander gemacht.

§ 32. Die ersten Versuche, welche bei der im Capitel II ausführlich beschriebenen Aufstellung des Unterbrechers, d. h. bei einer Aufstellung auf das Minimum der Unterbrechungsdauer ausgeführt wurden, gaben nur wenig nachdrückliche Resultate. Sie machen nur Eines un-

zweifelhaft, nämlich, dass die Verdoppelung der Anzahl der Stromunterbrechungen keine Bedingungen erzeugt, die das Entstehen von Anfangszuckungen begünstigen, vielmehr sind die Bedingungen für das Erhalten dieser letzteren günstiger, wenn der Nerv durch einen Strom mit seltenen Unterbrechungen gereizt wird.

Die Gründe für eine solche Folgerung bestehen darin, dass ich gewöhnlich bei der Wirkung der Ströme mit seltenen, sowie auch mit häufigen Unterbrechungen annähernd gleiche Effecte beobachtete, wobei der Effect überall, wo nur irgend welche Differenzen sich bemerken liessen, der Anfangszuckung dann näher stand, wenn der Nerv durch einen Strom mit seltenen Unterbrechungen gereizt wurde. Ohne mich auf die Beschreibung der entsprechenden Versuche einzulassen, beschränke ich mich nur auf ein Myogramm (No. 43), welches bei der Reizung des Nerven durch einen schwachen absteigenden Strom erhalten wurde.

Wir sehen auf demselben, dass sich bei der Reizung durch einen intermittirenden Strom mit häufigen Unterbrechungen zwar kurze, doch unzweifelhafte Anfangstetani wahrnehmen liessen, während die Reizung durch einen Strom mit seltenen Unterbrechungen einfache Anfangszuckungen erzeugte.

Derartige Unterschiede beobachtete ich bei meinen Versuchen zu oft, als dass ich ihnen einen rein zufälligen Charakter zumuthen könnte. Namentlich deshalb bin ich zur Vermuthung gekommen, dass bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit häufigen Unterbrechungen Bedingungen entstehen, welche das Erhalten eines tetanischen Effectes begünstigen. Weitere Versuche haben diese Voraussetzung in der That in eine nachgewiesene Thatsache verwandelt.

§ 33. Wenn wir voraussetzen, dass die Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom mit häufigen Unterbrechungen das Erhalten der Tetani begünstigt, so können wir diese Erscheinung von zweierlei Standpunkten betrachten. Nämlich erstens können wir glauben, dass dieselbe von der Veränderung der Reizfrequenz selbst, oder zweitens dass sie von der Veränderung der Dauer einzelner Stösse abhängig ist: andere Ursachen kann man unmöglich vermuthen, weil nur die erwähnten Factoren beim Uebergange von einem Strome mit seltenen zu einem mit häufigen Unterbrechungen eine Veränderung erleiden. Folglich müsste man im ersteren Falle annehmen, dass die Vergrösserung der Anzahl der Reizungen, welche auf den Nerven während einer Zeiteinheit wirken, das Erhalten eines tetanischen Effectes befördert; im zweiten aber muss dasselbe Resultat der Abkürzung der Dauer jedes Stromstosses zugeschrieben werden.

Von den beiden angeführten Voraussetzungen ist die erstere schon a priori unwahrscheinlich: denn auf Grund der in der Literatur vorhan-

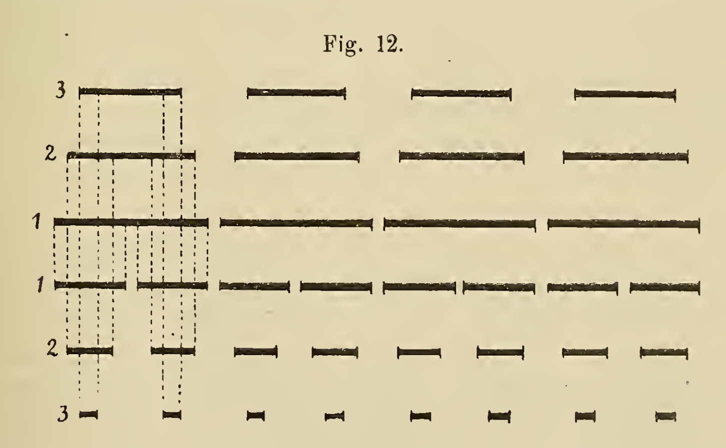
denen Angaben in Bezug auf die Frage nach der Anfangszuckung (wir werden dieselben im folgenden Capitel erwähnen) könnte man eher glauben, dass die Vergrösserung der Anzahl der Reizungen das Erhalten der Tetani nicht befördern, sondern verhindern müsse (Anfangszuckungen wurden bis jetzt nur bei sehr bedeutenden Reizfrequenzen beobachtet).

Deshalb habe ich die zweite Voraussetzung zum Stützpunkt für eine neue Reihe von Versuchen genommen.

Der im Grunde dieser Versuche liegende Gedanke besteht in Folgendem. Wenn in unserem Falle der intermittirende Strom mit häufigen Unterbrechungen das Erhalten eines tetanischen Effectes nur deswegen begünstigt, weil die Dauer jedes der ihn zusammensetzenden Stösse geringer ist, als die des Stromes mit seltenen Unterbrechungen, so ist es klar, dass der Unterschied der durch beide Ströme hervorgerufenen Effecte um so schärfer ausgedrückt sein muss, je bedeutender die Dauer der Stösse sich bei dem Uebergange von einem Strome zum anderen verändert.

Bei unserer Methode, die Reizfrequenz zu verändern, kann eine ziemlich scharfe Veränderung der Dauer der Stromstösse sehr leicht erzielt werden. Dazu brauchen wir nur den Strom zu benutzen, der bei der Aufstellung des Unterbrechers nicht auf die minimale (wie es bei den im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen Versuchen der Fall war), sondern auf die möglichst lange Unterbrechungsdauer entsteht. In der That genügt es, nur einen Blick auf die Fig. 12 zu werfen, um sich zu überzeugen, dass der Uebergang vom Strome mit seltenen zum Strome

Fig. 12.



mit häufigen Unterbrechungen von einer desto grösseren Verkürzung der tösse begleitet werden muss, je länger die Unterbrechungen sind.

Auf dieser Figur sind 6 Linien gezogen, welche paarweise mit Ziffern 1, 2, 3 bezeichnet sind. Jedes mit der nämlichen Ziffer be-

zeichnete Paar stellt schematisch den Charakter der einander entsprechenden intermittirenden Ströme mit seltenen (die obere Linie) und mit häufigen (die untere Linie) Unterbrechungen dar, wobei die einzelnen Paare sich nur durch die Dauer der Unterbrechungen von einander unterscheiden.

Es ist klar, dass die Differenz der Dauer der Stösse beider mit 3 bezeichneten Ströme viel entschiedener ist, als die entsprechende Differenz der mit 1 bezeichneten.

Also musste ich in den vorgenommenen Versuchen die Quecksilbernäpfchen V und V′ (siehe Capitel II), die den intermittirenden Strom lieferten, möglichst weit vom Hammer entfernen, um den Unterbrechungen eine möglichst grosse Dauer zu geben.

Es ist uns schon bekannt, dass bei einer mehr oder weniger bedeutenden Verlängerung der Unterbrechungen der intermittirende Strom, wenn er auf einen normalen Nerven wirkt, anhaltende Tetani erzeugt. Der Charakter unserer Versuche fordert aber, dass die Nervenreizung durch einen intermittirenden Strom mit seltenen Unterbrechungen entweder eine Anfangszuckung oder wenigsens einen kurzen Anfangstetanus hervorrufe: nur unter diesen Bedingungen kann man nachweisen, dass der Strom mit häufigen Unterbrechungen das Erhalten der tetanischen Reaction begünstigt. Um diese Bedingungen zu erfüllen und dennoch die Unterbrechungen möglichst vergrössern zu können, benutzte ich für meine Versuche keinen frischen, soeben präparirten Nerven, sondern ich unterwarf denselben einer fünf Minuten langen vorläufigen Polarisation durch einen starken absteigenden Strom (4 D ohne Rheochord). Dabei geräth der Nerv, wie wir wissen, in einen Zustand, welcher das Entstehen der Anfangszuckungen bei der Reizung durch einen intermittirenden Strom von absteigender Richtung (ich benutzte zu diesen Versuchen ausschliesslich absteigende Ströme) bedeutend erleichtert.

Der ganze Versuch wurde in folgender Weise ausgeführt.

Nach der Beendigung der vorläufigen Polarisation suchte ich vorerst dem intermittirenden Strome einen den Versuchen entsprechenden Charakter zu verleihen. Zu diesem Zwecke reizte ich den Nerven mehrmals nacheinander durch den Strom V, indem ich das diesen Strom liefernde Quecksilbernäpfchen V hin und her (näher oder weiter vom Hammer) bewegte. Mit Hülfe dieser Bewegungen suchte ich dasselbe in eine Lage zu bringen, bei welcher der intermittirende Strom, bei möglichst grosser Dauer der Unterbrechungen, noch einfache Anfangszuckungen (oder kurze Anfangstetani) hervorrief. Nachher gab ich dem Näpfchen V′ dieselbe Aufstellung, wobei ich den Nerven natürlich durch den intermittirenden Strom V′ reizte. Nachdem die Aufstellung beider Näpfchen zu Ende war, konnte ich schon zu den eigentlichen Versuchen übergehen, welche in jeder Hinsicht auf ganz dieselbe Weise ausgeführt

wurden, wie die im vorhergehenden Paragraphen beschriebenen, d. h. ich reizte den Nerven abwechselnd bald durch den intermittirenden Strom mit seltenen, bald durch den mit häufigen Unterbrechungen.

Bei solchen Versuchen tritt die Verschiedenheit der in beiden Fällen entstehenden Effecte sehr scharf hervor, wie es die Myogramme NNo. 44 und 45 erläutern. Wir sehen auf denselben, dass statt Anfangszuckungen oder kurzer Anfangstetani bei der Wirkung der Ströme V oder V′, anhaltende Tetani bei Wirkung des Stromes V V′ entstanden.

Auf Grund der beschriebenen Versuche kann kein Zweifel mehr bleiben, dass bei der Vergrösserung der Reizfrequenz nach unserer Methode die Bedingungen für das Erhalten des tetanischen Effectes günstiger werden. Ebenso kann es auch keinem Zweifel unterliegen, dass im gegebenen Falle das Erhalten des tetanischen Effectes nicht durch die Vergrösserung der Anzahl der Stromstösse, sondern durch die Verkürzung der Dauer derselben begünstigt wird.

Fassen wir nun die Resultate aller in der vorliegenden Abtheilung beschriebenen Versuche zusammen, so kommen wir zu folgendem Satze:

Neunter Satz. Die Veränderung der eigentlichen Reizfrequenz (unter welcher man bloss die Anzahl der Stösse, die der Nerv in einer Zeiteinheit erhält, verstehen muss) in den Grenzen 46—140 per Secunde übt keinen merklichen Einfluss auf die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom; diese Effecte hängen ausschliesslich von der Dauer der Stösse und der Unterbrechungen ab, wobei je anhaltender die Stösse und je kürzer die Unterbrechungen sind, desto günstiger die Bedingungen für das Erhalten einfacher Anfangszuckungen, und umgekehrt, je kürzer die Stösse und anhaltender die Unterbrechungen, desto günstiger die Bedingungen für das Erhalten eines tetanischen Effectes werden.

V. Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes mit kurzen Stössen.

Im Capitel II habe ich schon das Verfahren beschrieben, das es mir ermöglichte, einen intermittirenden Strom zu bekommen, dessen einzelne Stösse eine sehr geringe Dauer hatten (s. S. 49). Namentlich obiger Art und Weise bediente ich mich bei der Anstellung der Versuche, die dieser Abtheilung angehören.

Die in Rede stehenden Versuche sind also dem Charakter des reizenden Stromes nach denjenigen gerade entgegengesetzt, mit denen wir

es in allen vorhergehenden Abtheilungen zu thun hatten. In der That benutzten wir bis jetzt zur Nervenreizung intermittirende Ströme, deren Unterbrechungsdauer entweder möglichst kurz oder jedenfalls bedeutend kürzer war, als die Dauer der Stösse. Jetzt aber werden bei den Versuchen nur solche Ströme gebraucht, deren Stösse entweder eine möglichst kurze oder jedenfalls eine bedeutend kürzere Dauer haben, als die Unterbrechungen.

Die über die Nervenreizung durch den intermittirenden Strom mit kurzen Stössen angestellten Versuche waren darauf gerichtet, die folgenden beiden Fragen zu beantworten: erstens wie ein solcher Strom auf einen normalen Nerven wirkt, und zweitens wie er auf den Nerven nach einer vorläufigen Polarisation wirkt. Bei der Lösung dieser beiden Fragen suchte ich, wie auch in allen vorhergehenden Versuchen, nur diejenigen Erscheinungen zu untersuchen, welche an der Kathode des intermittirenden Stromes entstehen; deshalb benutzte ich die vorläufige isolirende Polarisation in allen Fällen, wo das Erscheinen der erregenden Wirkung der Anode zu befürchten war (bei der Reizung des Nerven durch alle mehr oder weniger starken Ströme).

A. Effecte der Reizung eines normalen Nerven durch eine Reihe kurzer Stösse.

§ 34. Bei der Untersuchung der Reizungseffecte eines normalen Nerven beabsichtigte ich hauptsächlich, die bekannten Resultate der Arbeit von König[1]) über die Abhängigkeit der Stärke der Nervenerregung von der Dauer der auf ihn wirkenden Stromstösse durchzuprüfen. Wie bekannt, gebrauchte König bei seinen Experimenten einzelne Stromstösse von verschiedener Dauer und kam zu folgendem Schlusse: „der electrische Strom muss, um die der Erregung entsprechende Molekularveränderung der Nervensubstanz hervorzurufen, eine gewisse Zeit hindurch wirken“ (siehe S. 545). Diese Zeitdauer muss nach König länger als 0,0015 Sec. sein. Bei meinen Versuchen gebrauchte ich nicht einzelne Stösse, sondern einen intermittirenden

---

[1]) König, Wiener Sitzungsber. Bd. LXII. 2. Abth. 1870. Beiträge zur Theorie der electrischen Nervenreizung. S. 537—546. Vor König behandelten dieselbe Frage Fick (Beiträge zur vergl. Physiol. der irritablen Substanzen. Braunschweig 1863. S. 32 und Untersuch. über electr. Nervenreizung. Braunschweig 1864. S. 64) und Brücke (Wiener Sitzungsber. 2. Abth. Bd. LVIII. 1868. Ueber die Reizung der Bewegungsnerven durch electr. Ströme. S. 451) und später auch Grünhagen (Pflüg. Arch. Bd. XXXIII. 1883. Ueber d. Verhältn. zwischen Reizdauer, Reizgrösse und latenter Reizperiode. S. 301). Alle diese Forscher sind ungefähr zu einem und demselben Resultate gekommen.

Strom, was eigentlich ganz gleichgültig ist, denn ist ein zu kurzer Stoss nicht im Stande, eine Erregung hervorzurufen, so muss die Erregung auch bei einer Reihe dergleichen Stösse ausbleiben.

Die Resultate meiner Versuche stimmen mit denjenigen von König in dem Sinne überein, dass es sich für einen sehr schwachen intermittirenden Strom (König gebrauchte gleichfalls schwache Ströme) stets möglich erwies, eine so kurze Dauer der Stösse zu ermitteln, bei welcher der Strom keinen Effect hervorruft, während man bei Verlängerung ihrer Dauer starke Tetani erhält[1]).

Als Beispiel führe ich zwei Myogramme unter den NNo. 46 und 47 an, von welchen das erstere bei der Reizung des Nerven durch einen absteigenden und das zweite bei der Reizung durch einen aufsteigenden intermittirenden Strom erhalten wurde.

Die darauf aufgeschriebenen Versuche wurden auf folgende Art ausgeführt: während der Wirkung des intermittirenden Stromes mit kurzen Stössen (der Schliessungsmoment dieses Stromes ist durch eine Erhöhung der zweiten Linie bezeichnet) wurde die Dauer der Stösse von Zeit zu Zeit nach der uns bekannten Methode (s. S. 50) verlängert und dann wieder auf ihre frühere Länge zurückgeführt (diese Momente sind durch Erhöhungen und Senkungen der dritten Linie bezeichnet). Wir sehen, dass der intermittirende Strom, welcher bei kurzen Stössen gänzlich unwirksam ist, starke Tetani giebt, sobald die Dauer der Stösse grösser wird und umgekehrt.

Die angeführten Versuche haben nicht nur eine qualitative Bedeutung, da dabei nach der uns bekannten Weise die Dauer der Stösse gemessen wurde. Ich führe die ermittelten Resultate an: die Ablenkung des Galvanometerzeigers bei der Wirkung des constanten Stromes war 51°30′, die Ablenkung derselben bei der Wirkung des intermittirenden Stromes mit kurzen Stössen 45′, die Ablenkung bei der Wirkung des intermittirenden Stromes mit verlängerten Stössen 1°30′, die Reizfrequenz 88. Wenn wir auf Grund dieser Angaben die Dauer der einzelnen Stösse berechnen, so finden wir, dass die Dauer der kurzen Stromstösse, welche noch keine Effecte hervorrufen, 0,00019 und die Dauer der verlängerten, welche Tetani erzeugen, 0,00038 Sec. gleich ist.

Die angeführten Zahlen sind bedeutend kleiner, als diejenigen, welche König bekam. Uebrigens können solche Messungen, wie wir uns bald überzeugen werden, bloss eine relative Bedeutung haben, da der Grad der Empfindlichkeit des Nerven gegen die Stösse von verschiedener Dauer eine höchst veränderliche Grösse darstellt.

---

[1]) Die Unwirksamkeit des intermittirenden Stromes, dessen Stösse eine zu geringe Dauer haben, wurde schon früher von allen Forschern constatirt, welche sich mit der Frage über die Wirkung des intermittirenden Kettenstromes auf den Nerven beschäftigten. Doch unterscheiden sich ihre Versuche von den meinigen in der Hinsicht, dass sie Ströme mit sehr häufigen Unterbrechungen in Anwendung brachten.

Das beschriebene Resultat, d. h. die Unwirksamkeit des aus kurzen Stössen bestehenden intermittirenden Stromes, kann nur bei sehr schwacher Reizung (2 D mit 1 oder maximum mit 2 cm langem Draht des du Bois-Reymond'schen Rheochords) beobachtet werden. Wenn wir aber stärkere Ströme benutzen, bekommen wir Tetani schon bei ganz kurzen Stössen, so dass man bei dergleichen Stromstärken den Nerven ebenso gut, wie auch das Telephon zum Nachweis der kurzen Stösse verwenden kann.

B. Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch eine Reihe kurzer Stösse.

Die Versuche über die Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch eine Reihe kurzer Stösse wurden ganz und gar ebenso angestellt, wie die entsprechenden Versuche, die in der zweiten Abtheilung dieses Capitels beschrieben wurden, wo zur Reizung ein intermittirender Strom mit kurzen Unterbrechungen gebraucht wurde. Mit anderen Worten wurde auch hier in jedem gegebenen Falle ein Vergleich derjenigen Effecte vorgenommen, welche vor und nach der Polarisation entstehen.

§ 35. Derartige Versuche haben gezeigt, dass die Empfindlichkeit des Nerven gegen die Reizung durch eine Reihe kurzer Stromstösse sich unter der Wirkung der vorläufigen Polarisation enorm verändert. Der Nerv wird nämlich unter der Wirkung der vorläufigen Polarisation gegen kurze Stösse selbst eines sehr starken Stromes verhältnissmässig sehr unempfindlich. Dabei ist es ganz gleichgültig, wenigstens in qualitativer Hinsicht, ob die vorläufige Polarisation durch die Kathode oder durch die Anode bewirkt wird; in quantitativer Hinsicht aber existirt ein grosser Unterschied, insofern als die Wirkung der Polarisation durch die Kathode viel schärfer ausgeprägt ist.

So z. B. erweist sich nach einer mehrere Minuten langen absteigenden Potarisation die Nervenreizung durch einen starken (4 D in meinen Versuchen) absteigenden intermittirenden Strom, dessen einzelne Stösse weitaus keine minimale Dauer hatten, absolut wirkungslos, während dieselbe Reizung, wenn sie auf den Nerven vor der Polarisation wirkt, die stärksten Tetani hervorruft. Als Beispiel führe ich das Myogramm unter der No. 49 an, auf welchem die Effecte der Nervenreizung durch einen intermittirenden Strom, dessen Stösse die Dauer 0,00052 Sec. besassen (die Abweichung vom constanten Strome 59°, vom intermittirenden 2°30′, die Reizfrequenz 98) aufgeschrieben sind.

Bei den Versuchen mit der Polarisation durch die Anode können dieselben Resultate nur dann erzielt werden, wenn wir zur Reizung

verhältnissmässig schwache, zur Polarisation aber, wie früher, starke Ströme benutzen. Ein derartiges Beispiel stellt das Myogramm unter der No. 50 dar, wo die Dauer jedes Stosses des reizenden Stromes (2D mit 5 cm des Rheochorddrahts) 0,00076 war (die Ablenkung unter der Wirkung des constanten Stromes 51° 30′, unter der Wirkung des intermittirenden 3° 30′, die Reizfrequenz 102). Wenn man aber zur Reizung starke Ströme gebraucht, so bekommt man gewöhnlich Tetani selbst nach einer mehrere Minuten langen Polarisation durch die Anode.

Um zu beweisen, dass die Unwirksamkeit des intermittirenden Stromes in den beschriebenen Versuchen nur von der allzu kurzen Dauer der Stösse abhängt, stellte ich Versuche an, bei denen diese Dauer von Zeit zu Zeit verlängert wurde. Solche Versuche haben gezeigt, dass der Strom zu wirken beginnt, sobald man die Dauer der Stösse vergrössert. Als Beispiel führe ich das Myogramm unter der No. 48 an. Alle Bezeichnungen bleiben dieselben, wie auch auf dem früher beschriebenen Myogramm unter No. 47. Der Nerv wurde vorläufig durch einen absteigenden Strom von 4 D polarisirt. Dann wurde während der Reizung durch einen intermittirenden Strom mit kurzen Stössen die Dauer der Stösse von Zeit zu Zeit verlängert[1]).

§ 36. Auf Grund des bis jetzt Gesagten könnte man zu dem Schluss gelangen, dass in unserem Falle zwischen der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode und der durch die Anode kein Antagonismus vorhanden ist. Diese Folgerung erweist sich aber als unrichtig, ein gewisser Antagonismus ist vorhanden und kann leicht durch Versuche nachgewiesen werden.

Um diesen Antagonismus zu entdecken, ist es am bequemsten, den Stössen des zur Reizung angewandten starken intermittirenden Stromes eine möglichst lange Dauer zu verleihen, dabei aber eine solche, dass die vorläufige Polarisation durch die Kathode den Nerven noch leicht in den Zustand der Unempfindlichkeit gegen ihre Wirkung versetzen könnte. Unter diesen Bedingungen kann die Unempfindlichkeit, welche

---

[1]) Erscheinungen, die gar manches Gemeinsame mit den in diesem Paragraphen beschriebenen haben, wurden schon vor langer Zeit von Neumann beobachtet (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1864), welcher die Veränderung der Empfindlichkeit des Nerven gegen einzelne kurze Stromstösse beim Absterben untersuchte. Zu dem Zwecke verglich der Verfasser die Effecte, welche bei der Reizung durch einen momentanen Strom entstehen (eine genauere Dauer des Stromes wird vom Verf. nicht angegeben), mit denjenigen, welche bei einer einfachen Schliessung des constanten Stromes erzielt werden. Dabei fand er, dass bei dem Absterben (24 Stunden oder mehr nach dem Anfange des Versuches) die Empfindlichkeit des Nerven für kurze Ströme sich enorm vermindert, so dass z. B. der momentane Strom von 48 Elementen keinen Effect giebt, während der Strom von 4 Elementen bei einer längeren Dauer sowohl Schliessungs- als Oeffnungszuckungen erzeugt (S. 562).

unter der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode sich entwickelt hat, durch eine nachfolgende Polarisation durch die Anode beseitigt werden. Unterwerfen wir den Nerven mehrere Male nach einander der Wirkung der Polarisation bald durch die Kathode, bald durch die Anode, so können wir eine solche Unempfindlichkeit ebenso oft hervorrufen und sie beseitigen. Ein Beispiel solcher Versuche wird auf dem Myogramn unter der No. 51 angeführt.

Wenn man aber die oben angezeigten Bedingungen nicht erfüllt, d. h. wenn man zur Reizung einen schwachen intermittirenden Strom benutzt, und besonders wenn man dabei auch die Dauer der Stromstösse zu kurz gestaltet, so kann die Unempfindlichkeit, die sich unter der Wirkung der vorläufigen Polarisation durch die Kathode entwickelt hat, selbst durch eine mehrere Minuten lange nachfolgende Anodenpolarisation nicht mehr beseitigt werden.

Ziehen wir also das in Betracht, was in der zweiten Abtheilung dieses Capitels über die Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes mit kurzen Unterbrechungen gesagt wurde, so bemerken wir leicht, dass zwischen unserem Falle und dem oben erwähnten eine Parallele durchgeführt werden kann. Dort haben wir gesehen, dass die Nachwirkungen der vorläufigen Polarisation durch die Kathode und der durch die Anode einigermaassen einander gleichen, insofern als beide das Entstehen der Anfangszuckung begünstigen, wobei die Polarisation durch die Kathode in dieser Richtung viel stärker wirkt, als die Polarisation durch die Anode; ganz dasselbe beobachten wir auch hier: die vorläufige Polarisation durch die Kathode macht den Nerven gegen kurze Stösse viel unempfindlicher, als die Polarisation durch die Anode. Dort haben wir ausserdem gesehen, dass bei einer abwechselnden Polarisation des Nerven durch die Kathode und durch die Anode, die Polarisation durch die Anode im Stande ist, die Veränderung zu beseitigen, welche die Polarisation durch die Kathode im Nerven hervorgerufen hat, den kleinen Rest ausgenommen, den die Polarisation durch die Anode schon selber hervorzurufen vermag; ganz dasselbe sehen wir auch in dem uns jetzt interessirenden Falle: die Polarisation des Nerven durch die Anode vernichtet die Unempfindlichkeit gegen kurze Stösse, welche durch die vorläufige Kathodenpolarisation hervorgerufen ist, und lässt nur denjenigen Rest unberührt, der schon durch die vorläufige Anodenpolarisation selber hervorgerufen werden kann.

Mit der Beschreibung der Effecte der Nervenreizung durch einen Strom mit kurzen Stössen schliesse ich nun das gegenwärtige Capitel,

welches der Frage über die Wirkung der Kathode des intermittirenden Stromes auf den Nerven gewidmet ist. Jetzt müsste ich zum zweiten experimentellen Theile meiner Untersuchung übergehen, nämlich zur Beschreibung der Erscheinungen, welche bei Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes beobachtet werden. Es scheint mir jedoch zweckmässiger zu sein, diese letztere in einem der weiteren Capitel zu beschreiben, vorläufig aber die Frage zu erörtern, auf welche Weise sämmtliche bis jetzt angeführten Thatsachen erklärt werden können.

Dem Versuche, diese Frage zu lösen, sollen die nun folgenden beiden Capitel gewidmet sein. In dem ersteren will ich nach Erwähnung der Resultate, welche von meinen Vorgängern bei den Versuchen mit der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Kettenstrom ermittelt wurden, versuchen, die oben beschriebenen Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes aufzuklären. Im zweiten aber werde ich zeigen, dass die aufgestellte Erklärung hinlänglich mit den Thatsachen in Einklang gebracht werden kann, welche sowohl den Pflüger'schen Gesetzen der Veränderung der Reizungseffecte unter der Wirkung des polarisirenden Stromes, als auch dem du Bois-Reymond-schen Gesetze der electrischen Nervenerregung zu Grunde liegen.

Capitel V.

Die Erklärung der Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Im vorigen Capitel haben wir eine ganze Reihe von Thatsachen kennen gelernt, welche nicht den geringsten Zweifel zulassen, dass die Wirkung des intermittirenden und die des constanten Stromes auf den Nerven manches Analoge darbietet, was besonders plastisch hervortritt, wenn die Dauer der Stromunterbrechungen klein ist. Somit erweist sich die allgemein anerkannte Vorstellung, dass der intermittirende Strom den Nerven tetanisch erregt, nur dann richtig, wenn seine Unterbrechungen mehr oder weniger lange dauern; im entgegengesetzten Falle aber bekommt man entweder ganz dieselben Effecte, wie auch bei der Wirkung des constanten Stromes (Anfangszuckungen), oder Effecte von vermittelndem Charakter (Anfangstetani von verschiedener Dauer). Die Verwandtschaft der Erscheinungen, die man bei der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes bekommt, nöthigt uns, anzuerkennen, dass beiden ähnliche Ursachen zu Grunde liegen. Deshalb kann eine jede Erklärung der Effecte der Reizung durch den intermittirenden Strom nur dann für hinreichend anerkannt werden, wenn wir dieselbe mit unseren Vorstellungen über die Nervenerregung durch den constanten Strom in Einklang bringen können.

Bekanntlich wird die Frage über die erregende Wirkung des constanten Stromes jetzt nach den Untersuchungen von du Bois-Reymond und Pflüger für gelöst angesehen, deswegen muss unsere erste Aufgabe darin bestehen, dass wir einen Versuch machen, die von ihnen gegebene fertige Lösung auf unseren Fall anzuwenden. Mit anderen Worten: wir müssen entscheiden, ob man die Anfangszuckung bei der Wirkung des intermittirenden Stromes von demselben Standpunkte betrachten kann, von welchem du Bois-Reymond und Pflüger die Schliessungszuckung betrachten.

Bevor ich aber zur Erörterung dieser Frage übergehe, will ich hier kurz die Resultate erwähnen, welche meine Vorgänger bei der Untersuchung der Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom ermittelt haben, und dabei die Verhältnisse erläutern, welche zwischen ihnen und den von mir beobachteten Erscheinungen bestehen.

Dass der intermittirende Kettenstrom unter gewissen Bedingungen ganz ebenso wirken kann, wie der constante, wurde schon längst von verschiedenen Forschern (Harless[1]), Heidenhain[2]), Engelmann[3]), Grünhagen[4])) behauptet. Besonders klar äusserten sich darüber Engelmann und Grünhagen, denen es gelungen ist, einfache Muskelzuckungen in Momenten der Schliessung eines schwachen intermittirenden Stromes zu bekommen (bei einer starken Reizung wurden Anfangszuckungen noch nie beobachtet)[5]). Da die erwähnten Forscher sich nicht auf eine blosse Beschreibung der gefundenen Thatsachen beschränken, sondern auch gleichzeitig sie zu erklären suchen, so müssten wir, wie es scheint, vorerst die von ihnen entwickelten theoretischen Vorstellungen in Betracht ziehen. Dies scheint mir aber vollkommen überflüssig zu sein, und zwar aus folgendem Grunde.

Alle Forscher, denen es bis jetzt gelang, Anfangszuckungen zu sehen, beobachteten dieselben ausschliesslich bei einer sehr grossen Reizfrequenz (bei mehreren Hunderten oder selbst Tausenden Reizungen per Secunde). Deshalb spielt in allen vorhandenen Erklärungen der in Rede stehenden Erscheinung die Anzahl der vom Nerven (oder Muskel) empfangenen Impulse eine hervorragende Rolle: sämmtliche Erklärungen suchen zu zeigen, warum die Anfangszuckung nur bei einer grossen Reizfrequenz möglich wird. Da die im vorigen Capitel erörterten Thatsachen uns überzeugen, dass die Anfangszuckungen bei einer verhältnissmässig sehr kleinen Reizfrequenz recht schön beoachtet werden können, so wird es klar, dass die vorhandenen Erklärungen in unserem Falle unanwendbar sind. Vielmehr habe ich wichtige Gründe, zu glauben, dass die Anfangszuckung der erwähnten Autoren und die von mir untersuchte, wenn auch nicht immer, so doch meistentheils gar nicht identische Erscheinungen sind und für ihre Erklärung verschiedener Standpunkte bedürfen.

Im Anfange des vorigen Capitels haben wir gesehen, dass es nöthig ist, um Anfangszuckungen zu bekommen, allen Stössen des intermittirenden Stromes eine und dieselbe Richtung zu geben; im entgegengesetzten Falle, d. h. bei der abwechselnd verschiedenen Richtung einzelner Stösse beobachtet man nur Tetani und keine Spur von Anfangszuckungen. Obgleich alle citirten Verfasser keine vergleichenden Versuche mit dem intermittirenden Kettenstrom von beiderlei Beschaffenheit[6])

---

[1]) Gelehrte Anzeigen d. bayr. Akad. 10. Juli 1857. No. 5. S. 47.

[2]) Studien d. physiol. Instituts zu Breslau. 1. Heft. 1861. S. 64.

[3]) Pflüger's Archiv. Bd. IV. 1871. S. 3—33.

[4]) Pflüger's Archiv. Bd. VI. 1872. S. 157—181.

[5]) Bei Grünhagen und besonders bei Engelmann finden wir auch Angaben hinsichtlich der Bedingungen, welche auf die Erscheinung der Anfangszuckung Einfluss haben. In Bezug auf diese Angaben will ich hier bemerken, dass einige von denselben mit den von mir im vorhergehenden Capitel auseinandergesetzten zusammenfallen, andere aber nicht. Diesem Zusammen- oder Nichtzusammenfallen kann ich aber auf Grund des weiter im Texte Gesagten keine besondere Bedeutung zuschreiben.

[6]) So viel ich weiss, sind solche vergleichenden Versuche nur von Valentin (Pflüger's Arch. Bd. XI. 1875) angestellt worden; er bekam aber dabei keine beständigen Resultate.

angestellt haben und sich nur auf den Fall beschränkten, wo alle Stösse eine und dieselbe Richtug besassen, so wurde doch die Frage über die Effecte der Nervenreizung durch Inductionsströme schon mehrmals behandelt. Solche Reizung entspricht augenscheinlich meinen Versuchen über die Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit abwechselnd entgegengesetzter Richtung der Stösse. Somit könnte man glauben, dass bei der Wirkung der Inductionsströme das Erreichen der Anfangszuckungen unmöglich werde. Jedoch wurden dieselben von einigen Autoren (Bernstein)[1]) beobachtet. Es ist dabei bemerkenswerth, dass die Bedingungen, unter welchen Bernstein Anfangszuckungen erhielt, sich im Allgemeinen mit denjenigen identisch erweisen, die zum Erzielen derselben bei der Wirkung des intermittirenden Kettenstromes nothwendig sind (Engelmann, Grünhagen): in beiden Fällen ist eine unbedeutende Stärke und eine bedeutende Frequenz der Reizungen nöthig. In Folge dieser Aehnlichkeit der Erscheinungen wurde bis jetzt noch nie der Gedanke ausgesprochen, dass es nothwendig sei, sie auf irgend welche Weise zu unterscheiden: die Fragen nach den Effecten der Nervenreizung durch die intermittirenden Ketten- und Inductionsströme werden immer von einem und demselben Standpunkte aus behandelt.

Wenn wir die angeführten Literaturangaben mit dem von mir ermittelten Resultate vergleichen, so müssen wir zu der Folgerung kommen, dass die Bernstein'sche Anfangszuckung nichts Gemeinsames mit der meinigen hat: diese letztere hängt im Gegensatze zu der Bernstein'schen nicht von der Reizfrequenz, sondern vom Charakter des reizenden Stromes ab. Deshalb hat die Annahme viel Wahrscheinlichkeit für sich, dass die grosse Anzahl der Impulse, die der Nerv erhält, schon an und für sich unabhängig vom Charakter des reizendes Stromes, im Stande sei, den Nerven oder den Muskel mit einer Anfangserregung gegen die Reizung reagiren zu lassen. Wenn wir aber die Bernstein'sche Anfangszuckung als Resultat der grossen Reizfrequenz betrachten, so müssen oder wenigstens können auch die von Engelmann und Grünhagen erreichten Resultate, insofern als sie mit den Resultaten von Bernstein identisch sind, in dieselbe Kategorie der Erscheinungen eingereiht werden. Auf diese Weise zeigt es sich, dass meine Untersuchung einstweilen nicht im Stande ist, die Frage zu bentworten, wie sich nämlich die von mir und die von den citirten Forschern untersuchten Erscheinungen zu einander verhalten und ob sie nahe verwandt oder von einander ganz unabhängig sind.

Wenn wir zu dem Gesagten noch hinzufügen, dass gegen die mit dem Kettenstrom angestellten Untersuchungen ernstliche Einwendungen gemacht wurden[2]), so ist es klar, dass ich genöthigt bin, in allen weiteren Betrachtungen mich nur nach den von mir untersuchten Thatsachen zu richten.

Die von uns im Anfange des Capitels aufgestellte Frage kann sehr leicht beantwortet werden. Da auf Grund der allgemein anerkannten Ansichten der Strom nur durch seine Schwankungen den Nerven zu erregen vermag, so ist es leicht verständlich, dass bei der Wirkung des intermittirenden Stromes das Erzielen der nämlichen Erscheinungen, die man bei der Wirkung des constanten Stromes beobachtet, mit den allgemein gültigen Vorstellungen äusserst schwer in Einklang gebracht werden kann: erleidet der Strom beständige Schwankungen, so muss jede

[1]) Bernstein, Unters. über d. Erregungsvorgang etc. Heidelberg 1871.
[2]) Hermann, Handb. d. Physiol. Bd. II. Th. I. S. 86, 112.

Schwankung, wenn ihre Höhe nicht zu klein ist, unvermeidlich von einer Erregung begleitet werden, und folglich kann keine Anfangszuckung, sondern es muss ein Tetanus entstehen[1]).

Somit muss ich die allgemein gültigen Ansichten über die electrische Nervenerregung für unzureichend halten und in den von mir untersuchten Erscheinungen einen Leitfaden sowohl zu ihrem Begreifen, wie auch zur Erklärung der bekannten Effecte der Nervenreizung durch den constanten Strom zu finden versuchen.

Aus der Zusammenstellung der Effecte, welche bei der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes entstehen, folgt unmittelbar, dass etwas existiren muss, was — dort wie hier constant bleibend — den beobachteten Ercheinungen einen identischen Charakter verleiht. Von der Nothwendigkeit der Annahme eines solchen Factors überzeugt uns die Thatsache, dass die Analogien zwischen der Wirkung des einen und des anderen Stromes, die erst bei einer gewissen kleinen Dauer der Unterbrechungen zur Geltung kommen, mit der Verminderung dieser Dauer immer schärfer und schärfer ausgeprägt werden. Mit anderen Worten: der Charakter der Erscheinungen selbst weist darauf hin, dass jeder Stoss des intermittirenden Stromes im Nerven eine Nachwirkung zurücklässt, die erst mit der Zeit ausgeglichen werden kann und die veranlasst, dass alle nachfolgenden Stösse ohne irgend welchen sichtbaren Effect bleiben.

---

[1]) Im Texte nehme ich überall an, dass die Ursache der von mir untersuchten Anfangszuckung ausschliesslich im Nerven liege. Indessen kann man sowohl a priori, als auch auf Grund der Literaturangaben (Bernstein, Wwedenski) glauben, dass die Erscheinung überhaupt zweierlei Erklärungen zulässt: die Ursache der Erscheinung liegt entweder im Muskel oder im Nerven. Nehmen wir die erstere Erklärung an, so müssen wir zulassen, dass jeder Stoss des intermittirenden Stromes im Nerven einen ihm entsprechenden Erregungsprocess hervorruft, der Muskel aber nur auf die erste Erregung aus der ganzen gegebenen Reihe reagirt und deshalb als Resultat eine einfache Anfangszuckung ergiebt. Es ist unzweifelhaft, dass eine solche Erklärung in unserem Falle nicht anwendbar ist. In Wirklichkeit haben wir gesehen, dass bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit gleichsinnigen und abwechselnd entgegengesetzt gerichteten Stössen ein grosser Unterschied beobachtet wird: in dem letzteren Falle können keine Anfangszuckungen, sondern nur Tetani erzielt werden. Da es für den Muskel ganz gleichgültig sein kann, ob die Erregung des Nerven durch eine oder die andere Richtung des reizender Stromes bewirkt wird, so sind wir genöthigt anzuerkennen, dass die Processe ir Nerven bei der Reizung desselben mit gleichsinnigen und mit abwechselnd entgeger gesetzt gerichteten Stössen verschieden sein müssen, mit anderen Worten: dass de Erscheinung der Anfangszuckung von den sich im Nerven selbst ereignenden V'rgängen abhängt. Zu Gunsten dieser Folgerung sprechen auch die übrigen Thatsacl en meiner Untersuchung, insofern als sie zeigen, dass die Erscheinung der Anfargszuckung vollkommen abhängig ist von denjenigen Einflüssen, welche nur den Ne ven und nicht den Muskel berühren.

Die schon längst bekannten Thatsachen können uns einige Andeutungen über den Charakter dieser Nachwirkung geben. Bekanntlich hat Pflüger nachgewiesen, dass die Nachwirkung im Katelectrotonusgebiete des polarisirten Nerven gleich nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes in einer starken Depression der Nervenerregbarkeit besteht (Pflüger'sche negative Modification der Nervenerregbarkeit)[1]). Es ist leicht einzusehen, dass diese Erregbarkeitsabnahme, wenn wir nur ihr Vorhandensein nach jedem Stosse des intermittirenden Stromes annehmen, fähig ist, die Erscheinung der Anfangszuckung zu erklären. In der That muss nun die Reaction des Nerven auf den ersten Stoss des intermittirenden Stromes eine andere sein, als die auf alle nachfolgenden: nur der erste Stoss wirkt auf einen völlig normalen Nerven, alle folgenden aber auf einen Nerven, dessen Erregbarkeit durch den Einfluss der vorigen Stösse herabgedrückt worden und noch nicht zur vollen Wiederherstellung gelangt ist. Demnach lässt es sich leicht begreifen, dass unter passenden Bedingungen der erste Stoss von einer Erregung begleitet werden kann, während alle übrigen nicht den mindesten Effect erzeugen, mit anderen Worten: dass man die Erscheinung der Anfangszuckung beobachten wird.

Wir haben oben gesehen, dass die Erklärung, welche man dem Erscheinen der Anfangszuckung giebt, mit der von der Schliessungszuckung unter der Wirkung des constanten Stromes identisch sein muss. Obgleich ich die ausführliche Erläuterung dieser letzteren erst im folgenden Capitel unternehmen will, muss ich doch schon hier bemerken, dass eine derartige Identität nur dann möglich ist, wenn die Erregbarkeitsabnahme im Katelectrotonus nicht nur nach der Oeffnung, sondern auch während des Geschlossenseins des Stromes (und zwar in diesem letzteren Falle in einem noch viel stärkeren Grade) vorhanden ist. Mit anderen Worten: wir müssen annehmen, dass es im Katelectrotonus gar keine Steigerung der Erregbarkeit giebt, sondern nur eine mehr oder weniger entschieden entwickelte Abnahme derselben, — selbst dann, wenn die Reizungseffecte gesteigert erscheinen.

---

[1]) Dass die Depressien der Erregbarkeit im Katelectrotonus sich gleich nach der Oeffnung des Stromes entwickelt, wurde von Obernier (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1861. S. 269—278) unter Pflüger's Leitung bewiesen. Obernier hat nämlich gezeigt, dass diese Depression schon $^1/_{100}$ Secunde nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes deutlich hervortritt. Ich selbst habe (im physiologischen Labaratorium des Herrn Prof. Tarchanoff) noch nicht veröffentlichte Versuche angestellt, welche, obwohl sie nicht gänzlich abgeschlossen sind, dennoch beweisen, dass die Erregbarkeitsabnahme, und zwar in ihrer vollen Kraft schon im Momente der Stromesöffnung selber stattfindet, so dass zu ihrer Entwickelung keine messbare Zeit erforderlich ist.

Wie paradox auch diese Annahme sein und wie sehr sie sich von den gewöhnlichen Vorstellungen unterscheiden mag, so ist es dennoch leicht zu zeigen, dass sie keine logischen Widersprüche enthält. Schon im Capitel I (S. 11) haben wir gesehen, dass es eine Möglichkeit giebt, die Pflüger'sche katelectrotonische Steigerung der Reizungseffecte nicht als eine wirkliche Modification der Nervenerregbarkeit, sondern als das Resultat rein physikalischer Processe der Summirung katelectrotonischer Zweige des reizenden und des polarisirenden Stromes im Nerven zu betrachten. Von diesem Standpunkte aus müssen wir anerkennen, dass die Thatsache der Effectsteigerung im Katelectrotonus an und für sich genommen uns noch nicht die mindesten Anzeichen von dem Zustand der wahren Nervenerregbarkeit giebt: die Erregbarkeit kann normal bleiben, sie kann gesteigert, kann aber auch vermindert werden. In diesem letzteren Falle, welcher meiner Meinung nach in der That auch gilt, haben wir es also mit zwei in entgegengesetzten Richtungen wirkenden Einflüssen zu thun, von denen der eine (die Summirung katelectrotonischer Zweige des reizenden und des polarisirenden Stromes) eine Effectsteigerung befördert, der andere aber (die Abnahme der Nervenerregbarkeit) im Gegentheil eine Effectabnahme erzeugt. Es ist leicht einzusehen, dass der Effect, welcher unter diesen Bedingungen erlangt wird, so zu sagen die Resultirende der erwähnten Einflüsse darstellen muss: er muss den normalen Effect übertreffen, falls der erste Einfluss das Uebergewicht erhält, und muss von ihm übertroffen werden, falls das Uebergewicht auf der Seite des letzteren Einflusses bleibt.

Zu Gunsten unserer Annahme spricht die in meiner früheren Abhandlung ausführlich untersuchte und als secundäre Erregbarkeitsabnahme bezeichnete Erscheinung, insofern als sie einen Beweis dafür liefert, dass der Katelectrotonus in der That fähig ist, die Nervenerregbarkeit herabzusetzen.

Das Wesentliche der in Rede stehenden Erscheinung wurde im Allgemeinen schon im Capitel III (S. 58) dargestellt, nämlich da, wo die Methode der isolirten Beobachtung der an der Kathode und an der Anode entstehenden Erregung besprochen wurde. Dort haben wir gesehen, dass die Pflüger'sche Steigerung der Reizungseffecte im Bereiche des Katelectrotonus nur das erste Erscheinungsstadium bildet, da bei einer dauernden Polarisation sich mit voller Regelmässigkeit nach und nach eine scharf ausgeprägte Erregbarkeitsabnahme entwickelt. Ebenfalls haben wir gesehen, dass diese Erregbarkeitsabnahme die Eigenschaft besitzt, im Momente der Oeffnung des polarisirenden Stromes nicht zu verschwinden, sondern noch eine mehr oder minder geraume Zeit im Nerven zu verbleiben. Nun könnte man glauben, dass diese secundäre Erregbarkeitsabnahme im Katelectrotonus des polarisirten Nerven nicht nur

bei den weiteren Stadien der Polarisation zum Vorschein komme, wie dies durch unmittelbare Versuche in meiner früheren Abhandlung dargethan worden, sondern gerade während der ersten Momente der Stromwirkung sich zu entwickeln beginne: in diesen ersten Momenten wird sie nur von der rein physikalischen Wirkung der Summirung katelectrotonischer Zweige des reizenden und des polarisirenden Stromes verdeckt[1]).

Ich nehme also an, dass die Anfangszuckung von der sich an der Kathode des reizenden Stromes entwickelnden secundären Erregbarkeitsabnahme bedingt wird: da diese Abnahme, schon gleich nach der Stromschliessung scharf ausgeprägt, nach der Stromöffnung nicht sogleich verschwindet, so kann sie dazu führen, dass nur der erste Stoss des intermittirenden Stromes eine Erregung hervorruft.

Um jedes Missverständniss zu vermeiden, will ich noch einmal die Grundsätze wiederholen, die meiner Meinung nach zur Erklärung der Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom vollkommen hinreichend sind, und die bei der weiteren Darstellung noch nachgewiesen werden müssen.

a) Im Bereiche des Katelectrotonus des polarisirten Nerven giebt es bei keinem Polarisationsstadium eine wirkliche Erregbarkeitssteigerung, so dass die Pflüger'sche katelectrotonische Steigerung des Reizungseffectes mit dem Zustande der Nervenerregbarkeit nichts Gemeinsames hat.

b) Im Bereiche des Katelectrotonus des polarisirten Nerven entwickelt sich, vom Momente der Schliessung des Stromes an, eine fortwährend wachsende Erregbarkeitsabnahme (secundäre Erregbarkeitsabnahme), welche die Oeffnung des Stromes mehr oder minder dauernd überlebt.

---

[1]) Da ich annehme, dass die Erregbarkeitsabnahme im Bereiche des Katelectrotonus nicht ausschliesslich den weiteren Polarisationsstadien eigenthümlich ist, sondern schon beim Beginn der Stromwirkung zum Vorschein kommt, so müsste ich, wie es scheint, aufhören, sie die secundäre Abnahme zu nennen. Dennoch halte ich es für gelegen, ihr die von mir früher gegebene Benennung zu lassen. Die in meiner früheren Abhandlung bewiesene Fähigkeit der secundären Erregbarkeitsabnahme, während der Polarisation grenzenlos zu wachsen, nöthigt uns, anzuerkennen, dass dieselbe mit der Dauer der Stromwirkung auf's Engste verbunden ist, indem sie sich mit der Zeit nach und nach entwickelt. Namentlich diese Eigenschaft der Erregbarkeitsabnahme zwingt mich, ihr die Benennung der „secundären" zu lassen; diese ist noch in der Hinsicht vortheilhaft, dass sie wie zuvor eine Gegenüberstellung der secundären Erregbarkeitsabnahme und der Pflüger'schen primären Erregbarkeitssteigerung erlaubt. Obgleich ich diese letztere, wie schon oben bemerkt, nicht als eine wirkliche Veränderung der Nervenerregbarkeit betrachte, und deswegen in Beziehung auf sie so viel als nur möglich das Wort „Erregbarkeit" vermeiden werde, ist es dennoch unmöglich, auf diese Weise systematisch zu verfahren, besonders da, wo es sich um literarische Hinweisungen handelt.

Beide Sätze lassen sich im Grunde auf den zweiten allein zurückführen. In der That, wäre erst einmal nachgewiesen, dass im Katelectrotonus die Erregbarkeit schon von den ersten Polarisationsmomenten an vermindert ist, dann wäre zugleich bewiesen, dass die Pflüger'sche primäre Effectsteigerung mit der Modification der Nervenerregbarkeit nichts Gemeinsames hat: eine verminderte und gesteigerte Erregbarkeit können nicht gleichzeitig existiren. Dessen ungeachtet hebe ich auch den ersten Satz hervor, da das Vorhandensein der Erregbarkeitssteigerung im Katelectrotonus eine so allgemeine Anerkennung geniesst, dass es äusserst beschwerlich ist, sich von dieser Vorstellung loszumachen.

Nun fragt es sich, wo sind die Beweise zu Gunsten der aufgestellten Sätze zu suchen?

Schon der oberflächlichste Blick auf unsere Sätze lehrt, dass dieselben ein Erscheinungsgebiet berühren, welches bedeutend breiter ist, als die von mir untersuchten Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom. In Folge dessen müsste ich, wenn ich die gesuchten Beweise ausschliesslich dem Gebiete der letzteren zu entlehnen wünschte, viele Erscheinungen, die mit meinen Sätzen im engsten Zusammenhang stehen, bei Seite lassen, und zwar solche, über die sich bei den Physiologen völlig feststehende, den von mir aufgestellten aufs Entschiedenste widersprechende Vorstellungen gebildet haben. Ich meine nämlich die Erscheinungen im Bereiche des Katelectrotonus des constanten Stromes. Deswegen müssen alle Beweise, welche zu Gunsten meiner Sätze angeführt werden können, in zwei Gruppen zerfallen. Die eine fusst auf der Erläuterung der Möglichkeit, alle Haupterscheinungen, die im Bereiche des Katelectrotonus des constanten Stromes beobachtet werden, von meinem Standpunkte aus zu begreifen. Speciell dieser Frage wird das folgende Capitel gewidmet werden. Die zweite Gruppe, und zwar die wichtigste, bilden alle diejenigen Thatsachen, welche von uns bei den Versuchen der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom erlangt worden sind. Mit diesen Beweisen wollen wir uns im vorliegenden Capitel beschäftigen. Dabei werden wir vorläufig voraussetzen, dass alle Widersprüche, die zwischen meinen Sätzen und den allgemein anerkannten Ansichten vorkommen könnten, schon beseitigt wären und dass es sich also aus schliesslich um die Anwendbarkeit oder Unanwendbarkeit meines Standpunktes auf diejenigen Erscheinungen handelt, welche bei der Wirkung des intermittirenden Stromes auf den Nerven beobachtet werden.

Schon die blosse Möglichkeit, Anfangszuckungen unter der Wirkung des intermittirenden Stromes zu erlangen, kann nicht anders erklärt werden, als durch die herabgesetzte Erregbarkeit, die sich im Nerven unter dem Einflusse des ersten oder einiger ersten Stösse entwickelt hat.

In der That, wegen des regelmässigen Ganges meines Unterbrechers müssen alle Stösse des intermittirenden Stromes sich als Reizmittel ganz gleichgeltend erweisen: jeder von ihnen besitzt die gleiche Stärke, die gleiche Dauer, die gleiche Steilheit des Stromanwachsens und der Stromabnahme. Deswegen haben wir, wenn wir nun bei dem Einflusse einer Reihe solcher gleichartigen Reizungen verschiedene Effecte (Zuckung bei der Wirkung des ersten Stosses und Ruhe bei der Wirkung aller nachfolgenden) erhalten, keinen anderen Ausweg, als die Annahme, dass der beobachtete Unterschied vom Zustande der Nervenerregbarkeit abhängt. Die Lage, in der wir uns in diesem Falle befinden, kann mit vollem Rechte mit derjenigen verglichen werden, in welcher man sich befunden hätte, wenn man bei der Reizung des Nerven mit Inductionsschlägen von gleicher Stärke einmal eine starke Zuckung, ein andermal völlige Ruhe des Muskels erzielen würde: hier würde Niemand zweifeln, eine solche Reaction des Nerven als Zeichen einer hohen Erregbarkeit im ersteren Falle und einer niedrigen im zweiten zu betrachten.

Folglich erscheint die Abhängigkeit der Anfangszuckung von der Fähigkeit jedes Stromstosses, eine verminderte Erregbarkeit im Nerven zurückzulassen, schon a priori als die nächste und natürlichste Erklärung.

Damit ist aber noch nicht gesagt, dass die die Erscheinung der Anfangszuckung bedingende Erregbarkeitsabnahme mit der von mir früher untersuchten secundären Erregbarkeitsabnahme identisch ist. Beweise dafür liefern alle im vorhergehenden Capitel erörterten Erscheinungen der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom.

Es ist leicht einzusehen, dass diese Erscheinungen keine ordnungslose Anhäufung der Thatsachen darstellen, sondern dass der ganzen Untersuchung ein bestimmter Leitgedanke zu Grunde gelegt war. Dieser Leitgedanke bestand in Folgendem. Gesetzt, dass die Ursache der Anfangszuckung in der That in der an der Kathode des intermittirenden Stromes sich entwickelnden secundären Erregbarkeitsabnahme verborgen liegt, so müssen alle Bedingungen, die diese Erregbarkeitsabnahme begünstigen, auch das Auftreten der Anfangszuckung begünstigen und umgekehrt. Mit anderen Worten: ich habe allen meinen Versuchendie Voraussetzung zu Grunde gelegt, dass zwischen den Bedingungen, welche die secundäre Erregbarkeitsabnahme einerseits und die Erscheinung der Anfangszuckung andererseits bedingen, ein vollständiger Parallelismus vorhanden sein muss. Wäre nun bewiesen, dass ein solcher Parallelismus in der That vorhanden ist, so müssten wir offenbar in diesem Zusammentreffen wichtige Beweisgründe zu Gunsten unserer Sätzeerblicken.

Da ich die Bedingungen, von denen die secundäre Erregbarkeitsabnahme abhängt, in meiner früheren mehrmals citirten Arbeit ziemlich ausführlich untersucht habe, so bleibt es noch übrig, die dort von mir

erhaltenen Resulte mit den Ergebnissen der im Capitel IV beschriebenen Thatsachen zusammenzustellen. Namentlich einer solchen Zusammenstellung, aus welcher sich auch die Erklärung der Erscheinungen unmittelbar ergeben soll, will ich das vorliegende Capitel widmen.

Da meine Untersuchung über die secundäre Erregbarkeitsabnahme von Niemandem geprüft und überhaupt bis jetzt in der physiologischen Literatur keiner Schätzung unterworfen wurde, so habe ich kein Recht, die von mir damals mitgetheilten Thatsachen als allgemein bekannte zu behandeln. Deswegen halte ich mich für gezwungen, mich nicht auf blosse Hinweisungen zu beschränken, sondern Alles, was für unseren Zweck nothwendig erscheinen wird, dem Gange der Betrachtungen gemäss zu erörtern. Die Darstellung wird in abgesonderten Rubriken vor sich gehen, entsprechend den Abtheilungen, in welche die Beschreibung der thatsächlichen Ergebnisse vertheilt wurde.

Als Einleitung zu dieser Darstellung will ich Folgendes bemerken.

Wir haben oben gesehen, dass meinem Erklärungsversuche die Voraussetzung zu Grunde liegt, dass der Strom im Katelectrotonus die Nervenerregbarkeit herabsetzt, und dass diese Herabsetzung den Augenblick der Stromesöffnung mehr oder weniger überlebt. Von diesem Standpunkte aus ist es leicht einzusehen, dass die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom von zweierlei Factoren abhängig sein müssen: erstens von der Grösse der Erregbarkeitsabnahme, welche durch jeden Stromstoss hervorgerufen wird, und zweitens davon, in welchem Grade es dem Nerven gelingt, sich im Momente der Wirkung des folgenden Stosses von der unter dem Einflusse des vorhergehenden entwickelten Erregungsabnahme zu erholen. Jeder Einfluss, welcher einen von den erwähnten Factoren in diesem oder jenem Sinne verändert, muss von einer entsprechenden Veränderung des Reizungseffectes begleitet sein.

Diese allgemeine Formel, welche das Wesen meiner Erläuterungen vollkommen umfasst, muss bei der nachfolgenden Auseinandersetzung immer im Auge behalten werden.

I. Die Erklärung der Effecte der Reizung des normalen Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Schon früher wurde gezeigt (S. 130), dass unsere Sätze vollkommen ausreichend sind, um die Erscheinung der Anfangszuckung bei der Wirkung des intermittirenden Stromes wenigstens in ihrer allgemeinen Form zu erklären. Deswegen halte ich es für überflüssig, mich länger mit

dieser Frage zu beschäftigen und wende mich unmittelbar zu der Erklärung des Einflusses, welchen die verschiedenen von mir untersuchten Bedingungen auf die in Rede stehende Erscheinung ausüben.

Vorerst will ich die Thatsache berücksichtigen, dass die Anfangszuckung nur bei relativ schwachen Strömen entsteht, bei stärkeren aber schon Tetani beobachtet werden. Die angezeigte Thatsache lässt sich von unserem Standpunkte aus sehr leicht erklären.

Wenn jeder Stromstoss im Nerven eine Erregbarkeitsabnahme hinterlässt, welche keine Zeit hat, während der kurzen Unterbrechungen unseres intermittirenden Stromes vollkommen zu verschwinden, so ist es klar, dass auf die Reizung durch schwache Ströme der Nerv nicht anders reagiren kann, als in Form nur einer Anfangszuckung. In der That, bei schwachen Strömen, deren Stärke die Reizschwelle des normalen Nerven nur wenig übertrifft, muss selbst die geringste Nachwirkung des ersten Stosses schon genügen, um alle nachfolgenden unwirksam zu machen. Wenn aber der Nerv durch Ströme gereizt wird, welche weit über die Reizschwelle des normalen Nerven hinausgehen, so ist eine sehr bedeutende Erregbarkeitsabnahme erforderlich, auf dass dabei die Reizung ohne sichtbaren Effect bleiben könne. Da aber keine Gründe vorliegen, der Nachwirkung einzelner Stösse einen so grossen Werth zuzuschreiben, so ist es leicht einzusehen, dass starke intermittirende Ströme im Stande sein müssen, Tetani hervorzurufen.

Nachdem das Entstehen der Anfangszuckungen bei schwachen und der Tetani bei starken Strömen erörtert worden ist, bleibt es noch übrig, zu zeigen, warum bei der Reizung des Nerven durch Ströme von mittlerer Stärke Uebergangsformen (Anfangstetani) erlangt werden.

Die Erscheinung des Anfangstetanus wäre vollkommen aufgeklärt, wenn es gelingen würde, zu beweisen, dass die Erregung des Nerven bei der Wirkung jedes folgenden Stromstosses eine kleinere Grösse erreichen muss, als die bei der Wirkung jedes vorhergehenden. Den Hinweis auf die Ursache einer derartigen Erregungsabnahme kann man in meiner früheren Abhandlung finden.

Dort wurde gezeigt, dass die secundäre Erregbarkeitsabnahme von bedeutender Stärke nicht nur durch eine constante Polarisation des Nerven, sondern auch durch eine Reihe verhältnissmässig kurzer (secundenlanger) Stromschliessungen hervorgerufen werden kann, die durch Ruheperioden von einander getrennt werden. Mit anderen Worten: die secundäre Erregbarkeitsabnahme, welche sich unter dem Einflusse der ersten Schliessungen des polarisirenden Stromes entwickelt, ist fähig, sich mit der unter dem Einflusse der nachfolgenden Schliessungen entwickelten zu summiren. Wenn wir das Gesagte auf unseren Fall anwenden, so müssen wir zu der Folgerung kommen, dass die Erregbar-

keitsabnahme, welche nach jedem aus der Reihe der auf den Nerven wirkenden Stromstösse zurückbleibt, mit jedem folgenden Stosse immer bedeutender erscheinen muss. Ist dem aber so, so muss auch die Erregung des Nerven bei der Wirkung des intermittirenden Stromes mit jedem folgenden Stosse immer schwächer werden und endlich völlig aufhören, mit anderen Worten: es muss ein Anfangstetanus entstehen.

Von unserem Standpunkte aus ist es auch ersichtlich, dass bei anhaltender Reizung jeder Tetanus im Grunde sich als einen Anfangstetanus erweisen muss: die fortwährend fortschreitende Erregbarkeitsabnahme muss unvermeidlich dahin führen, dass das gegebene Reizmittel, wie stark es auch sein mag, zur Erregung des Nerven nicht mehr ausreichen wird (s. den dritten Satz auf S. 77).

Von diesem Standpunkte aus wird auch der eigenthümliche Charakter des Anfangstetanus begreiflich, welcher sich auf unseren Myogrammen durch ein beständiges Schwanken der Curven äussert. Denn wie sorgsam wir den Unterbrecher auch aufstellen mögen, so können wir dennoch keine absolute Regelmässigkeit seiner Wirkung erreichen: es müssen stets kleine Fehler existiren, die sich darin ausdrücken, dass die Grösse der Unterbrechungen nicht unveränderlich bleibt, sondern unbedeutende Schwankungen nach dieser oder jener Seite darstellt. Während der kürzeren Unterbrechungen ist der Nerv nicht im Stande, sich so weit wie während der längeren zu erholen, und deswegen muss den kürzeren Unterbrechungen eine Abnahme, den längeren aber eine Steigerung der Tetanuscurve entsprechen. Es ist klar, dass eine solche Abwechselung der Steigerung und der Abnahme nur der weiteren Periode des Tetanus eigenthümlich sein kann, in welcher der Tetanus nämlich anfängt, steil zur Abscisse herabzufallen (s. § 6, S. 76). In der That, wenn ein starker intermittirender Strom soeben begonnen hat, auf den Nerven zu wirken, so können die kleinen Verschiedenheiten im Zustande der Erregbarkeit, welche vom verschiedenen Grade der Nervenerholung abhängen, in keiner merkbaren Weise die Grösse der durch jeden Stromstoss hervorgerufenen Erregung beeinflussen: jeder Stoss besitzt eine so bedeutende Stärke, dass er ungeachtet der bezeichneten Erregbarkeitsverschiedenheiten die maximale Erregung hervorruft. Jedoch wenn bei der allmälig progressirenden Abnahme der Erregbarkeit die letztere endlich so gedrückt erscheint, dass die Stromstösse schon nicht mehr im Stande sind, eine maximale Erregung hervorzurufen, dann muss der Unterschied der Nervenerholung nach jedem Stosse anfangen, entscheidenden Einfluss auf den hervortretenden Effect auszuüben.

Die soeben angeführten Erläuterungen führen uns unmittelbar zur Erklärung der Abhängigkeit der Reizungseffecte von der Dauer der Unterbrechungen des intermittirenden Stromes, d. h. zur Erklärung

derjenigen Erscheinungen, welche im zweiten Satze (s. S. 75) formulirt wurden.

Als oben bemerkt wurde, dass die secundäre Erregbarkeitsabnahme im Momente der Oeffnung des sie erzeugenden Stromes nicht verschwindet, so wurde darunter keinesfalls deren Fähigkeit, in statu quo zu verbleiben, verstanden. Im Gegentheil, die Erregbarkeitsabnahme besitzt, wie ich dies schon früher bewiesen habe, die Tendenz, sich nach und nach zu verwischen. Die Zeit, während der eine solche Nervenerholung erfolgt, besass bei dem Verfahren, das ich zu meiner früheren Arbeit verwendete, eine geraume Dauer und maass meistentheils einige Minuten. Ueberhaupt erwies sie sich desto grösser, je länger die Polarisation dauerte und je schärfer die secundäre Abnahme entwickelt war. In Erwägung dessen, dass die Dauer jedes Stosses des bei den vorliegenden Experimenten gebrauchten intermittirenden Stromes im Vergleich zur Dauer der von mir früher angewandten Polarisation (wobei der Nerv ganze Minuten lang polarisirt wurde) höchst unbedeutend erscheint, müssen wir annehmen, dass die Zeit, während welcher der Nerv sich von der durch jeden einzelnen Stromstoss erzeugten Erregbarkeitsabnahme zu erholen vermag, schon nicht Minuten, sondern Hundertstel oder sogar Tausendstel von Secunden messen muss. Geben wir eine derartige Fähigkeit des Nerven zur schnellen Erholung zu, so wird es uns möglich, die in Rede stehenden Erscheinungen vollkommen zu erklären.

In der That muss die Erregbarkeitsabnahme, welche im Nerven durch jeden Stoss des reizenden Stromes hinterlassen wird, auf Grund des oben Gesagten am schärfsten gerade im Momente des Verschwindens des Stosses ausgeprägt sein, und je weiter von diesem Momente, desto unmerkbarer muss sie sich erweisen. Es folgt daraus unmittelbar, dass die Bedingungen desto günstiger für die Erhaltung von Anfangszuckungen sein müssen, je kürzer die Stromunterbrechungen sind, und umgekehrt, je länger die Unterbrechungen dauern, desto grösser muss die Wahrscheinlichkeit sein, dass ein anhaltender Tetanus erzielt werde. Zwischen einfachen Anfangszuckungen und anhaltenden Tetani müssen Uebergangsformen, d. h. Anfangstetani von verschiedener Dauer beobachtet werden.

Sind die Unterbrechungen von so bedeutender Grösse, dass die Erregbarkeitsabnahme, welche jedem Stosse nachfolgt, Zeit genug hat, früher zu verschwinden, als der folgende Stoss seine Wirkung auf den Nerven auszuüben anfängt, so muss die Erlangung einer Anfangszuckung unmöglich sein.

Um die Erläuterung der im entsprechenden Abschnitte des Capitels IV betrachteten Thatsachen zu Ende zu bringen, bleibt es mir noch übrig, zu zeigen, weshalb es unmöglich wird, eine Anfangszuckung zu erzielen,

sobald die Stösse des reizenden Stromes nicht eine gleiche, sondern eine abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben.

Um dies aufzuklären, müssen wir wiederum auf eine von den früher von mir untersuchten Eigenschaften der secundären Erregbarkeitsabnahme Rücksicht nehmen.

Ich habe nämlich (S. 435) gezeigt, dass die secundäre Erregbarkeitsabnahme, welche sich unter dem Einflusse eines Stromes von beliebiger Richtung entwickelt hat, leicht beseitigt werden kann vermittelst der Polarisation des Nerven in entgegengesetzter Richtung, mit anderen Worten: dass der Anelectrotonus die Fähigkeit besitzt, die unter der Wirkung des Katelectrotonus entwickelte Erregbarkeitsabnahme zu vernichten. Bei der Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom mit entgegengesetzt gerichteten Stössen hat man es an jeder Stelle des Nerven mit einem beständigen Abwechseln der Zustände des Katelectrotonus und des Anelectrotonus zu thun. Es ist klar, dass die unter diesen Bedingungen sich unter dem Einflusse des Katelectrotonus entwickelnde Erregbarkeitsabnahme sogleich durch die Wirkung des Anelectrotonus neutralisirt werden muss und somit die Ursache, welche nach unseren Vorstellungen die Erscheinung der Anfangszuckung bedingt, nicht mehr vorhanden ist.

II. Die Erklärung der Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Die secundäre Erregbarkeitsabnahme besitzt, wie schon in meiner früheren Abhandlung constatirt wurde, eine höchst eigenthümliche Eigenschaft, sich im normalen Nerven anders zu entwickeln, als in einem Nerven, der schon vorher der Wirkung desselben Stromes ausgesetzt war.

Wenn wir der Polarisation einen normalen Nerven aussetzen und von Zeit zu Zeit die Grösse des Effectes, der bei seiner Reizung im Gebiete des Katelectrotonus beobachtet wird, ausmessen, so erhalten wir Erscheinungen, welche schon früher im Capitel III (s. S. 58) beschrieben wurden und anzeigen, dass die secundäre Erregbarkeitsabnahme sich im Laufe der Zeit nur ganz allmälig entwickelt. Gleich nach der Schliessung des polarisirenden Stromes wird stets zuerst die Pflüger'sche primäre Effectsteigerung beobachtet, welche im Laufe der Polarisation immer unmerkbarer wird, bis sie endlich ihre Stelle an die fortwährend progressirende secundäre Erregbarkeitsabnahme abtritt. Wenn die Polarisation aufhört, entsteht eine ebenso allmälige Ausgleichung der ent-

wickelten Abnahme und der Nerv erwirbt mit der Zeit von neuem die Fähigkeit, auf die Reizung durch Inductionsschläge dem Anscheine nach in völlig normaler Weise zu reagiren.

Aber eine derartige völlige Erholung ist nur scheinbar sogar in dem Falle, wenn nach dem Aufhören der Polarisation geraume Zeit (Stunden) verflossen ist: auch jetzt hören im Nerven die Nachwirkungen der vorigen Polarisation nicht auf und geben sich kund, sobald wir ihn einer neuen Polarisation durch einen Strom von derselben Richtung aussetzen. Wir bemerken jetzt nämlich, dass die Erregbarkeitsabnahme im Bereiche des Katelectrotonus sich schon nicht so allmälig wie früher entwickelt, sondern mit ausserordentlicher Schnelligkeit zum Vorschein kommt: die Erregbarkeit zeigt sich schon wenige Secunden nach der Stromschliessung ungefähr bis auf dasjenige Niveau herabgedrückt, auf welchem sie am Ende der ersten Polarisation stand. Mit anderen Worten: die zweite Polarisation erzeugt in einem Augenblicke dasselbe, was die erste nur nach Verlauf einer geraumen Zeit zu erzeugen im Stande gewesen (siehe meine frühere Abhandlung S. 433). Gleichzeitig mit der Fähigkeit, eine Erregbarkeitsabnahme im Bereiche des Katelectrotonus schnell zu entwickeln, erwirbt der Nerv, der einer vorläufigen Polarisation ausgesetzt wurde, auch die Fähigkeit, sich rasch von einer solchen Abnahme zu erholen. Wenn die nach der ersten Polarisation gebliebene, gedrückte Erregbarkeit vieler Minuten, selbst Zehner von Minuten, zu ihrer völligen Wiederherstellung bedurfte, so wird jetzt eine Erregbarkeitsabnahme von gleicher Stärke schon nach Verlauf von Secunden nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes unmerklich. Das über die Wirkung der zweiten Polarisation Gesagte bezieht sich allerdings auch auf die Wirkung jeder weiteren Polarisation. Die Erscheinung macht also den Eindruck, als ob die einmal schon entwickelte secundäre Abnahme, ungeachtet der scheinbaren Erholung des Nerven, dennoch nicht völlig verschwinde, sondern in einem latenten Zustande verbleibe, sich bei jeder neuen Polarisation offenbare und nach deren Aufhören wiederum in einen latenten Zustand übergehe.

So stellen sich die Thatsachen nach meinen früheren Forschungen dar.

Indem wir uns durch diese Thatsachen leiten lassen, erhalten wir die Möglichkeit, zunächst den allgemeinen Charakter der in der zweiten Abtheilung des Capitels IV beschriebenen Wirkung der vorläufigen Kathodenpolarisation zu erklären. In der That muss sie, da sie den Nerven fähig macht, eine sehr bedeutende Erregbarkeitsabnahme rasch nach der Schliessung des Stromes zu entwickeln, unvermeidlich dahin führen, dass schon nach dem ersten Stosse des intermittirenden Stromes die Erregbarkeit des Nerven in einem so hohen Grade vermindert erscheint, dass

alle nachfolgenden, wie stark der reizende Strom auch sein mag, wirkungslos bleiben müssen. Mit anderen Worten: derselbe intermittirende Strom, welcher bei der Wirkung auf einen normalen Nerven anhaltende Tetani gab, kann jetzt, nach der Polarisation, nur Anfangszuckungen erzeugen (s. den vierten Satz auf S. 82).

Ebenso leicht sind auch die Einzelheiten der Erscheinungen zu erklären. So z. B. können wir leicht verstehen, dass der Nerv, wenn er einmal durch die vorläufige Kathodenpolarisation in einen veränderten Zustand versetzt ist, diesen Zustand eine unbestimmte Zeit beibehalten muss (s. S. 82): die eigenthümliche Eigenschaft des Nerven, Nachwirkungen der vorhergehenden Polarisation zu bewahren, fährt ebenso fort, sich kund zu geben, ungeachtet bedeutender Perioden vollständiger Ruhe. Ebenso wird es verständlich, warum man bei der Reizung eines vorher polarisirten Nerven die Dauer der Unterbrechungen des reizenden Stromes in hohem Grade verlängern kann, ohne zugleich die Möglichkeit der Erlangung von Anfangszuckungen (s. S. 85) zu verlieren: die stärkere Erregbarkeitsabnahme, welche unter diesen Bedingungen nach jedem Stosse des intermittirenden Stromes nachbleibt, muss zu ihrer Wiederherstellung auch eine längere Zeitdauer erfordern. Mit einem Worte: alle Einzelheiten der Wirkung der vorläufigen Kathodenpolarisation könnten schon a priori vorausgesehen werden.

Indem ich jetzt zur Erklärung des Einflusses der vorläufigen Anodenpolarisation übergehe, muss ich vorerst daran erinnern, dass dieser Einfluss sich in zwiefacher Beziehung geltend macht: einerseits trifft er mit dem Einflusse der vorläufigen Kathodenpolarisation zusammen, andererseits erweist er sich als dem letzteren gerade entgegengesetzt. Wenn wir die schon oben (S. 137) erwähnte Thatsach ein Betracht ziehen, dass der Anelectrotonus auf die Nervenerregbarkeit gerade in entgegengesetzter Richtung vom Katelectrotonus wirkt, so können wir leicht ohne Weiteres die Fälle erklären, wo die Wirkung beider Polarisationen entgegengesetzt erscheint. Die Frage aber, warum die vorläufige Polarisation durch die Anode unter gewissen Bedingungen dieselbe Wirkung auf die Reizungseffecte ausübt, wie auch die vorläufige Polarisation durch die Kathode, kann erst in der folgenden Abtheilung erörtert werden.

III. Die Erklärung der Wirkung der Polarisation auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

Schon der erste Blick auf die in der entsprechenden Abtheilung des Capitels IV beschriebenen Thatsachen reicht vollkommen aus, um uns

zu überzeugen, dass dieselben auf Grund der allgemein anerkannten Ansichten über die Wirkungsweise des Kat- und Anelectrotonus ganz unerklärbar sind.

Wie wir die bei der Wirkung des intermittirenden Stromes hervortretenden Formen der Reizungseffecte auch erklären mögen, so müssen wir jedenfalls anerkennen, dass sie der mit der Zeit allmälig fortschreitenden Abnahme der Nervenerregung ihren Ursprung verdanken: je nachdem die Erregung entweder sogleich oder eine kurze oder eine lange Zeit nach dem Beginne der Reizung auf Null sinkt, erhält man entweder Anfangszuckungen, oder Anfangstetani, oder endlich anhaltende Tetani. Bestände die Polarisationswirkung nur in der Steigerung der Reizungseffecte im Bereiche des Katelectrotonus und in der Abnahme derselben im Bereiche des Anelectrotonus, wie man es auf Grund der allgemein anerkannten Ansichten annehmen muss, so müssten wir augenscheinlich erwarten, dass die Polarisation auf die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom in einer Richtung wirken werde, die der im Capitel IV nachgewiesenen entgegengesetzt ist.

In der That muss jeder Einfluss, der die Reizungseffecte steigert, zugleich die Erzielung eines tetanischen Effectes befördern: denn ein Nerv, der empfindlicher geworden, wird nicht nur mit einer gesteigerten Erregung auf diejenigen Stromstösse antworten, auf die er schon früher reagirte, sondern er muss zugleich die Fähigkeit erwerben, durch eine ganze Reihe weiterer Stösse, die früher ohne jeden Effect blieben, erregt zu werden. Umgekehrt, muss jeder Einfluss, der die Reizungseffecte drückt, für die Erzielung einer tetanischen Reaction ungünstig erscheinen: der für die Reizung unempfindlicher gewordene Nerv muss aufhören, auf viele von denjenigen Stössen zu reagiren, auf die er früher reagirte. Oder wenn wir es anders beschreiben wollen, vom Standpunkte der allgemein gültigen Ansichten aus muss man erwarten, dass die Wirkung der Kathodenpolarisation sich durch den Uebergang der Anfangszuckungen in Tetani, und die Wirkung der Anodenpolarisation durch den Uebergang der Tetani in Anfangszuckungen äussern wird. Die Wirklichkeit führt uns aber, wie wir oben (s. den siebenten Satz auf S. 99 und den achten Satz auf S. 104) gesehen haben, gerade das Umgekehrte vor Augen.

Auf Grund der von uns entwickelten Vorstellungen aber ist die oben erörterte Wirkung der Polarisation nicht die einzig mögliche: die Polarisation kann auch insofern wirken, als sie die während jeder Unterbrechung des intermittirenden Stromes stattfindende Nervenerholung beeinflusst. Dass ein solcher Einfluss in der That vorhanden sein muss und dass er im Stande ist, alle Erscheinungen aufzuklären, davon überzeugen uns folgende Betrachtungen.

Bei einer abwechselnden Nervenreizung ohne und während der Polarisation in der Art und Weise, wie sie bei unseren Experimenten angestellt wurde, haben wir es mit dem nämlichen intermittirenden Strom zu thun, welcher im ersteren Falle allein auf den Nerven wirkt, im zweiten aber zu einem den Nerven ununterbrochen durchfliessenden Polarisationsstrome hinzugefügt wird.

Also besteht der wesentliche Unterschied zwischen den Fällen der Nervenreizung ohne und während der Polarisation darin, dass der Nerv während der Unterbrechungen des reizenden Stromes im ersteren Falle sich selbst überlassen bleibt, im zweiten aber sich in dem Zustande befindet, in welchen ihn der polarisirende Strom versetzt, d. h. im Zustande des Katelectrotonus, wenn er durch die Kathode, und im Zustande des Anelectrotonus, wenn er durch die Anode polarisirt wird. Es ist klar, dass ein derartiger Zustand nicht ohne Einfluss auf die Schnelligkeit der Erholung des Nerven von der Erregbarkeitsabnahme, die durch jeden Stromstoss hervorgerufen wird, bleiben kann.

Was den Katelectrotonus betrifft, so kann nicht der geringste Zweifel bestehen, dass derselbe die Nervenerholung hemmen muss: da er schon an und für sich fähig ist, eine Erregbarkeitsabnahme hervorzurufen, so muss er desto mehr die Fähigkeit besitzen, das Verschwinden der schon entwickelten Abnahme zu verhindern. Für die Nothwendigkeit eines solchen Polarisationseinflusses zeugt besonders die im vorigen Abschnitte (S. 138) beschriebene Eigenschaft der einmal entwickelten secundären Abnahme, nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes nicht vollends zu verschwinden, sondern eine geraume Zeit in einem latenten Zustande zu verbleiben, wobei sie die Fähigkeit bewahrt, sich in jedem gegebenen Momente unter dem Einflusse einer neuen Schliessung des Stromes von der nämlichen Richtung kund zu geben. Und gerade der polarisirende Strom, der in unserem Falle während der Unterbrechungen des reizenden Stromes zu wirken fortfährt, stellt so zu sagen einen solchen neuen Strom dar, welcher folglich die während jedes Stosses des intermittirenden Stromes entwickelte Erregbarkeitsabnahme zum Vorschein bringen muss, oder mit anderen Worten: welcher die gedrückte Erregbarkeit verhindern muss, in ihren normalen Zustand zurückzukehren.

Geben wir einmal zu, dass die Kathodenpolarisation Hindernisse für die Nervenerholung schafft, so können wir schon verstehen, warum die Reizung während ihrer Wirkung so leicht Anfangszuckungen erzeugt (der siebente Satz auf S. 99).

Das gerade Umgekehrte muss eintreten, wenn die Reizung während einer Anodenpolarisation unternommen wird. Der Anelectrotonus besitzt, wie wir wissen (s. S. 137), die Fähigkeit, die unter dem Einflusse des Katelectrotonus entwickelte Erregbarkeitsabnahme zu neutralisiren. Das

Verbleiben des Nerven im anelectrotonischen Zustande während der Unterbrechungen des reizenden Stromes muss folglich dessen schnellere Erholung befördern, mit anderen Worten muss es die Erzielung einer tetanischen Reaction gegen die Reizung durch den intermittirenden Strom erleichtern (achter Satz auf S. 104).

Also lassen sich die bei der Untersuchung des Polarisationseinflusses ermittelten Hauptresultate leicht erklären. Nun will ich noch prüfen, ob mein Standpunkt auch den Einzelheiten gerecht wird. Ich werde dabei die von mir unter dem Einflusse der einen und der anderen Polarisation beobachteten Erscheinungen einzeln betrachten.

A. Wirkung der Kathodenpolarisation.

Auf Grund alles oben Gesagten kommen wir eigentlich zu dem Schlusse, dass der Einfluss der Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom einen zweifachen Charakter besitzen muss. Nämlich die Polarisation muss wirken erstens insoweit, als dieselbe überhaupt die Effecte der Nervenreizung im Bereiche ihrer Anwendung verändert, und zweitens insoweit, als sie die Eigenschaft besitzt, die Schnelligkeit der Nervenerholung zu ändern.

Beide Einflüsse der Kathodenpolarisation müssen, je nach den Bedingungen der Versuche, entweder einander entgegenwirken, oder mit einander zusammentreffen.

Aus meiner früheren, mehrfach citirten Arbeit wissen wir, dass die Effectsteigerung im Bereiche des Katelectrotonus eine Erscheinung ist, welche nur unter gewissen Bedingungen beobachtet wird; werden aber diese nicht befolgt, so kann sich das gerade entgegengesetzte Resultat ergeben (secundäre Erregbarkeitsabnahme). Ruft die Polarisation im gegebenen Falle die Pflüger'sche primäre Effectsteigerung hervor, so müssen beide Wirkungen der Polarisation einander entgegengesetzt erscheinen; und umgekehrt, sie müssen mit einander zusammentreffen, wenn der Einfluss der Polarisation sich in einer secundären Erregbarkeitsabnahme äussert.

Ich muss jedoch gestehen, dass es unter den im IV. Capitel beschriebenen Thatsachen keine einzige giebt, die eine der Pflüger'schen primären Effectsteigerung entsprechende Polarisationswirkung unmittelbar nachweisen könnte: ich habe niemals eine Verwandlung der Anfangszuckungen in Tetani unter der Wirkung der Kathodenpolarisation gesehen.

Der Mangel an solchen directen Beweisen lässt sich aber sehr leicht dadurch erklären, dass die andere Seite des Polarisationseinflusses so

mächtig ist, dass sie bei allen Bedingungen meiner Experimente[1]) die erstere überwog und in Folge dessen ihre Anwesenheit maskirte. In der That, wenn wir uns nach den Thatsachen richten, so finden wir viele indirecte Beweise für ihr wirkliches Vorhandensein.

Die erwähnten Beweise basiren darauf, dass sich in allen Fällen, wo die primäre Pflüger'sche Effectsteigerung stärker ausgedrückt werden muss, die von uns gefundene Fähigkeit der Kathodenpolarisation, Tetani in Anfangszuckungen zu verwandeln, schwächer erweist, und umgekehrt; die Erscheinungen haben somit einen solchen Charakter, als ob die Pflüger'sche Effectsteigerung in einer dieser Fähigkeit entgegengesetzten Richtung wirke.

Wir wissen, dass die Pflüger'sche Effectsteigerung sich besonders stark gleich nach der Schliessung des polarisirenden Stromes äussert, hierauf aber allmälig nachlässt und völlig verschwindet, indem sie durch eine secundäre Abnahme ersetzt wird. Dementsprechend haben wir im §. 23 (S. 101) gesehen, dass die Fähigkeit der Kathodenpolarisation, die Erzielung von Anfangszuckungen zu begünstigen, mit der Zeit immer mehr und mehr sich ausprägt.

Ebenso wissen wir, dass die Pflüger'sche Effectsteigerung im Bereiche des Katelectrotonus nur an einem frischen Nerven beobachtet werden kann. War aber der letztere einer mehr oder minder lange dauernden Stromwirkung ausgesetzt, so führt dessen abermalige Versetzung in den Katelectrotonuszustand schon keine Steigerung mehr, sondern eine Abnahme des Reizungseffectes herbei (s. S. 137). Dementsprechend haben wir im §. 24 (S. 102) gesehen, dass die Verwandlung des Tetanus in eine Anfangszuckung, deren Erzielung während der ersten Polarisationsmomente nicht gelang und die erst eine mehr oder minder geraume Zeit nachher stattfindet, bei der zweiten Polarisation des Nerven schon sogleich beobachtet wird.

Also bietet unser Standpunkt nicht nur eine vollkommen hinreichende Erklärung für den allgemeinen Charakter der Erscheinungen, die bei der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom während der Kathodenpolarisation beobachtet werden, sondern er ist ebenso im Stande, uns klarzulegen, warum in einigen Fällen der Einfluss der Polarisation

---

[1]) Ich sage: „bei allen Bedingungen meiner Experimente“, weil keine Veranlassung vorhanden ist, zuzugeben, dass ein derartiger Polarisationseinfluss überhaupt unter keinen Bedingungen entdeckt werden könne. Ich habe ihn, aller Vermuthung nach, nur darum nicht beobachtet, weil ich mir keine Mühe gab, ihn aufzusuchen. Es war mir nur wichtig, die Existenz der anderen Seite des Polarisationseinflusses nachzuweisen, die allein eine wesentliche Bedeutung für die Bestätigung der von mir entwickelten Ansichten hatte.

sich stärker äussert, als in anderen. Es genügt dazu, die Existenz zweier vollkommen selbstständiger Seiten der Polarisationswirkung anzunehmen, deren Nothwendigkeit wir aus rein apriorischen Betrachtungen abgeleitet haben. Die eine von ihnen, die auf der Fähigkeit der Polarisation die Nervenerholung zu verhindern beruht, ist so mächtig, dass sie unmittelbar bei allen gewöhnlichen Versuchsbedingungen bewiesen werden kann; die andere aber, welche auf der Fähigkeit der Polarisation, den Effect der im Bereiche des Katelectrotonus angewandten Reizung zu verändern basirt, äussert sich nur insofern, als sie die Wirkung der ersteren schwächt oder verstärkt: schwächt, indem die Polarisation die Pflüger'sche Effectsteigerung erzeugt, und verstärkt, indem diese die secundäre Erregbarkeitsabnahme hervorruft.

B. Einfluss der Anodenpolarisation.

Von unserem Standpunkte aus muss auch der Einfluss der Anodenpolarisation einen zwiefachen Charakter besitzen, d. h. insoweit, als die Polarisation für die Nervenerholung günstige Bedingungen mitbringt, muss sie die Erzielung der tetanischen Reaction befördern, aber insoweit, als sie fähig ist, den Reizungseffect zu mindern (die Pflüger'sche anelectrotonische Erregbarkeitsabnahme), muss sie die Erzielung von Anfangszuckungen erleichtern.

Diese Dualität des Einflusses der Anodenpolarisation tritt in der That mit hinreichender Augenscheinlichkeit hervor. An der entsprechenden Stelle des IV. Capitels haben wir gesehen, dass die Fähigkeit der Anodenpolarisation, Anfangszuckungen in Tetani zu verwandeln, nur unter gewissen Bedingungen mit besonderer Schärfe sich bemerkbar macht. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, so erhält man nur unbeständige Resultate (S. 106). Diese Unbeständigkeit kann nun als eine Wirkung der Polarisation in zwei entgegengesetzten Richtungen ausgelegt werden; man beobachtet gerade entgegengesetzte Effecte, je nachdem die eine oder die andere Seite der Polarisationswirkung das Uebergewicht erhält. Zugleich wird die Bedeutung der Bedingungen, unter welchen es mir gelang, absolut constante Resultate zu erzielen (siehe S. 106), ebenfalls begreiflich. Wir wissen, dass dazu, ausser der selbstverständlichen Bedingung, dass der polarisirende Strom eine mehr oder minder bedeutende Stärke besitze, noch die Unterbrechungen des zur Reizung angewandten intermittirenden Stromes eine so lange Dauer als nur irgend möglich haben müssen; wenn die Anodenpolarisation nur deswegen die Erzielung der Tetani begünstigt, weil sie die Erholung des Nerven von der jedem Stosse des reizenden Stromes nachfolgenden Erregbarkeitsabnahme beschleunigt, so ist es klar, dass diese Erholung

desto vollkommener erfolgen muss, je dauernder der Nerv der Wirkung des Anelectrotonus ausgesetzt wird, mit anderen Worten, je länger die Unterbrechungen dauern.

Damit könnte ich eigentlich die Erklärung des Polarisationseinflusses auf die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom beendigen, da nun sämmtliche in der entsprechenden Abtheilung des IV. Capitels beschriebenen Hauptthatsachen schon erklärt sind. Dennoch halte ich es für nothwendig, noch eine Erscheinung zu erörtern.

In der vorigen Abtheilung, wo ich die Wirkung der vorläufigen Anodenpolarisation zu erklären suchte, blieb noch unerörtert, warum die letztere unter gewissen Bedingungen auf die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom in derselben Weise wirkt, wie die vorläufige Kathodenpolarisation, d. h. die Erzielung von Anfangszuckungen begünstigt. Diese Fähigkeit der vorläufigen Anodenpolarisation scheint in einem scharfen Widerspruche zu den von mir entwickelten Ansichten zu stehen.

Ich glaube jedoch, dass dieser Widerspruch nur scheinbar ist und dass er gelöst wird, so bald wir auf den Zustand, in welchem sich der Nerv nach der Anodenpolarisation befinden muss, Rücksicht nehmen. Allgemein bekannt ist die Thatsache, dass der Nerv, welcher einer Polarisationswirkung ausgesetzt war, bei der Ableitung zum Galvanometer Ströme aufweist, die vordem nicht vorhanden waren. Das sind die sogenannten secundären electromotorischen Erscheinungen, die während der letzten Zeit von vielen Autoren (du Bois-Reymond, Hermann, Grützner, Tigerstedt u. A.) untersucht wurden. Nach ihren Untersuchungen kann schwerlich noch ein Zweifel daran gehegt werden, dass diese Erscheinungen, wenigstens grösstentheils, von der inneren Nervenpolarisation abhängen, d. h., dass sie nichts Anderes sind, als nur zum Galvanometer abgeleitete Zweige des im Nerven circulirenden Polarisationsstromes. Dieser Polarisationsstrom muss den Nerven in einen Electrotonuszustand versetzen, welcher demjenigen während der Polarisation entgegengesetzt ist.

Deswegen muss die Nervenstrecke, welche vor den Versuchen einer Anodenwirkung des polarisirenden Stromes ausgesetzt war, sich im Katelectrotonus befinden. Da dieser Zustand, wie wir oben gesehen haben, die Erzielung von Anfangszuckungen begünstigt, so ist es begreiflich, warum auch die vorläufige Anodenpolarisation in dieser Richtung wirken kann.

IV. Die Erklärung des Einflusses der Unterhrechungsfrequenz auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes.

In der entsprechenden Abtheilung des IV. Capitels sind wir zu dem Schlusse gekommen (der neunte Satz auf S. 117), dass die Reizfrequenz an und für sich keine merkbare Wirkung auf die beobachteten Erscheinungen ausübt. Die Reizungseffecte werden ausschliesslich durch die Dauer der Unterbrechungen und der Stösse des reizenden Stromes bestimmt, und zwar so, dass kurze Unterbrechungen nebst dauerhaften Stössen die Erzielung von Anfangszuckungen begünstigen, und dauerhafte Unterbrechungen nebst kurzen Stössen umgekehrt die tetanische Reaction des Nerven auf die Reizung befördern.

Es wurde schon früher (s. S. 136) gezeigt, dass die Dauer der Unterbrechungen, namentlich in der bezeichneten Richtung, auf den Reizungseffect wirken. muss. Was aber die Wirkung der Dauer der Stösse betrifft, so ist es ebenfalls sehr leicht, zu zeigen, dass auch diese aus meinen Ansichten gefolgert werden kann. In der That, je länger die Dauer der Stösse des reizenden Stromes ist, desto schärfer muss die nach jedem Stosse zurückbleibende Erregbarkeitsabnahme ausgeprägt sein, und folglich desto leichter muss der Strom Anfangszuckungen geben.

Hier will ich noch eine Bemerkung hinsichtlich des Widerspruches aufstellen, der zwischen den Resultaten meiner Versuche und denjenigen meiner Vorgänger zu existiren scheint.

Während meine ganze Untersuchung nachweist, dass die Erscheinung der Anfangszuckung äusserst leicht zu beobachten ist, deuten sämmtliche Literaturangaben darauf hin, dass dieselbe höchst schwer erzielt wird.

Ich glaube, dass dieser Widerspruch sich sehr leicht lösen lässt, wenn wir berücksichtigen, dass alle Autoren, die mit dem intermittirenden Strome arbeiteten, ihre Experimente bei einer möglichst grossen Reizfrequenz anzustellen suchten. Indem sie die Anzahl der Unterbrechungen vermehrten, mussten sie zugleich nothwendiger Weise die Dauer der Stromstösse bedeutend abkürzen. Die kurzen Stösse konnten aber nur eine unbedeutende Erregbarkeitsabnahme im Nerven hinterlassen und somit die Erzielung von Tetani, nicht aber von Anfangszuckungen befördern.

Folglich war die Anwendung einer zu grossen Reizfrequenz, welcher sämmtliche Autoren eine vorherrschende Bedeutung zuschrieben, meiner

Meinung nach die Hauptursache davon, dass die Erscheinung der Anfangszuckung bisher sehr wenig untersucht blieb, so wenig, dass ihre Existenz von vielen Physiologen verneint wird.

Indem ich die in der fünften Abtheilung des IV. Capitels beschriebenen Erscheinungen, welche die Empfänglichkeit des Nerven gegen die Reizung durch den intermittirenden Strom mit kurzen Stössen betreffen, bei Seite lasse (zu diesen Erscheinungen, welche übrigens in keiner unmittelbaren Beziehung zu den von mir entwickelten Ansichten stehen, werde ich noch später zurückkehren), komme ich auf Grund des in diesem Capitel Gesagten zu dem Schlusse, dass die Annahme der Fähigkeit des Katelectrotonus, eine Erregbarkeitsabnahme gleich nach den ersten Polarisationsmomenten hervorzurufen, vollkommen genügend ist, um sämmtliche von mir beobachteten Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes zu erklären.

Capitel VI.

Erklärung der Haupterscheinungen im Bereiche des Katelectrotonus des constanten Stromes.

Die Beweise, welche im vorigen Capitel zu Gunsten des von mir verfochtenen Satzes vorgebracht wurden, dass nämlich die Reizbarkeit im Bereiche des Katelectrotonus schon von den ersten Momenten der Wirkung des Stromes auf den Nerven an vermindert erscheint, sind so entscheidend, dass sie vollkommen hinreichend wären, hätten wir es nur mit denjenigen Erscheinungen zu thun, um die es sich bis jetzt handelte.

Es existirt aber in der Reihe unserer Beweise eine sehr bedeutende Lücke.

Wir haben (S. 124) gesehen, dass die völlige Analogie zwischen den Erscheinungen, welche bei der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes auf den Nerven beobachtet werden, keinen Zweifel darüber lässt, dass beiden Erscheinungen identische Ursachen zu Grunde liegen. Ist die allgemein gültige Theorie der electrischen Nervenerregung nicht im Stande, wie dies im Capitel V gezeigt worden, Rechenschaft über die Reizungseffecte des intermittirenden Stromes zu geben, so ist dies ein sichtbarer Beweis ihrer Mangelhaftigkeit und deutet auf die Nothwendigkeit hin, sie durch eine neue zu ersetzen, die beide Erscheinungsreihen von einem gemeinschaftlichen Standpunkte aus überblicken liesse. Folglich muss ich, um meinen Ansichten eine grössere Ueberzeugungskraft zu verleihen, nun beweisen, dass sie auf die Effecte der Reizung des Nerven durch den constanten Strom wirklich anwendbar sind, d. h. dass sie zur Erklärung des Erregungsgesetzes von du Bois-Reymond dienen können. Andererseits, da ich bei meinen Erläuterungen voraussetze, dass die Nervenerregbarkeit im Bereiche des Katelectrotonus herabgesetzt erscheint, gerathe ich in einen Widerspruch zu den Ansichten sämmtlicher Physiologen, die gerade das Entgegengesetzte für unzweifelhaft halten. Deswegen bin ich wiederum genöthigt, zu zeigen,

dass die Pflüger'sche Effectsteigerung im Katelectrotonusgebiete nichts Gemeinschaftliches mit der eigentlichen Erregbarkeitssteigerung hat, sondern sich von einem anderen Standpunkte aus hinlänglich erklären lässt. Das gegenwärtige Capitel wird namentlich dem Versuche gewidmet, die herrschenden Ansichten über die bezeichneten beiden Fragen zu ändern.

Der Leser hat ohne Zweifel schon bemerkt, dass die Aufgabe, die wir im gegenwärtigen Capitel zu erfüllen haben, mit derjenigen, vor der wir im Capitel I stehen blieben, genau zusammentrifft. Nachdem wir die Erscheinungen des physiologischen Electrotonus, die bei der gleichzeitigen Wirkung zweier Inductionsströme auf den Nerven beobachtet werden, untersucht haben und zum Schlusse kamen, dass sie alle „nicht als wahre Modificationen der Nervenerregbarkeit, sondern als das Resultat der Summirung von electrotonischen Zweigen zweier gleichzeitig den Nerven durchlaufender Schläge betrachtet werden können“ (S. 11), haben wir dort den Versuch gemacht, dieselbe Erklärung auch auf diejenigen Erscheinungen des physiologischen Electrotonus anzuwenden, die durch den constanten Strom erzeugt werden. Es erwies sich dabei, das zwischen einer derartigen Erklärung und den allgemein gültigen Ansichten über die electrische Nervenerregung ein unversöhnlicher Widerspruch vorhanden ist. Ohne mich darüber bestimmt in diesem oder jenem Sinne zu äussern, überliess ich damals die Lösung der Frage den weiteren Untersuchungen, nämlich den Untersuchungen über die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom. Nun, da diese Untersuchungen zu Ende gekommen, müssen wir folglich zur Lösung dieser Frage übergehen.

Also muss das gegenwärtige Capitel einen zweifachen Charakter besitzen. Einerseits muss es betrachtet werden als die unmittelbare Fortsetzung der Beweise für meine Erklärungsweise der Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes, und andererseits als der Versuch einer weiteren Entwickelung der im Capitel I aufgestellten Summirungstheorie. Gelingt es uns, das Erregungsgesetz von du Bois-Reymond von demselben Standpunkte aus zu erklären, von welchem wir die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom erklärt haben, und wird die auf diese Weise erlangte Vorstellung hinsichtlich der Erregungswirkung des Stromes erlauben, Widersprüche bei der Anwendung der Summirungshypothese auf die Pflüger'schen Erscheinungen zu vermeiden, so wird unsere Aufgabe augenscheinlich nach beiden Richtungen hin gleich genügend gelöst sein.

A. Das Erregungsgesetz von du Bois-Reymond.

„Nicht der absolute Werth der Stromdichtigkeit in jedem Augenblicke ist es, auf den der Bewegungsnerv mit Zuckung des zugehörigen Muskels antwortet, sondern die Veränderung dieses Werthes von einem Augenblicke zum anderen, und zwar ist die Anregung zur Bewegung, die diesen Veränderungen folgt, um so bedeutender, je schneller sie bei gleicher Grösse vor sich gingen, oder je grösser sie in der Zeiteinheit waren.“ [1])

Das sind die Worte, in denen du Bois-Reymond sein bekanntes Erregungsgesetz formulirt hat. In dieser allgemeinen Formel sind schon alle Beweisgründe enthalten, welche dafür angeführt werden können. Diese Beweisgründe bestehen aus folgenden allgemein bekannten Facta:

1. Ein Strom, der den Nerven mit einer bestimmten unveränderlichen Stärke durchfliesst, ruft meistentheils keine Erregung hervor; daraus folgt, dass die Stromdichtigkeit an und für sich nicht die geringste Rolle im Erregungsprocesse spielt.

2. Die Erregung tritt nur bei Schwankungen der Stromdichtigkeit hervor; daraus folgt, dass der Ursprung der Erregung gerade in den Schwankungen liegt.

3. Die Grösse der Erregung wird durch die Steilheit der Stromschwankungen bedingt; daraus folgt der im letzten Theile des oben angeführten Gesetzes ausgedrückte Satz.

Gelänge es uns, diese sämmtlichen Thatsachen von unserem Standpunkte aus zu erklären, so wäre dadurch die Erörterung des Gesetzes von du Bois-Reymond in seinem ganzen Umfange erschöpft.

Als du Bois-Reymond's Untersuchungen erschienen, war es noch unbekannt, dass der Strom fähig ist, auf den Nerven polar zu wirken. Die Entdeckung dieser Thatsache durch Pflüger hat aber die wesentlichen Seiten des Gesetzes von du Bois-Reymond unberührt gelassen, so dass das letztere bis jetzt noch die Grundlage unserer Vorstellungen über die Erregung des Nerven durch den Strom bildet. Die einzige Veränderung, die durch Pflüger's Untersuchungen bewirkt wurde, bestand darin, dass man von nun an die Erregung an der Kathode und an der Anode von einander unterschied: die erstere herrscht im Momente der Schliessung (resp. Verstärkung), die letztere im Momente der Oeffnung (resp. Erschlaffung) des reizenden Stromes.

Das Gesetz von du Bois-Reymond kann überhaupt von zweierlei

---

[1]) du Bois-Reymond, Untersuchungen etc. I. 1848. S. 258.

Standpunkten aus betrachtet werden. Erstens kann man es für einen kurzen und genauen Ausdruck der gewöhnlich beobachteten Thatsachen, ohne jeden Anspruch auf theoretische Bedeutung, und zweitens für eine Erregungstheorie halten. Der Unterschied zwischen dieser und jener Auffassung des Gesetzes besteht augenscheinlich darin, dass es im ersteren Falle nur eine Summe von Thatsachen darstellen würde, die einer Erklärung bedürfen, im zweiten aber den unmittelbaren Ausdruck der Grundeigenschaften des Nerven, nach denen sich unsere Vorstellungen über das Wesen der Nervenprocesse richten müssen.

Die meisten Physiologen betrachten das Gesetz von du Bois-Reymond gerade von diesem letzteren Standpunkte aus und behaupten, der Nerv habe schon von Natur die Fähigkeit, auf die von aussen kommenden Einflüsse nur in dem Momente zu reagiren, wo diese Einflüsse seinen Zustand ändern; wenn aber der einmal veränderte Zustand des Nerven auf demselben Niveau verbleibe, dann könne keine Erregung erscheinen. Im Sinne dieser Hypothese besitzt der constante Strom, indem er den Nerven mit unveränderlicher Stärke durchfliesst, gar keine erregende Wirkung: ein derartiger Strom erweist sich für den Nerven ebenso indifferent, als auch jeder andere Eingriff, von dem es feststeht, dass er unfähig ist, zu erregen.

Diese Vorstellung kann aber nicht alle bekannten Thatsachen erklären. So beobachtet man oft, dass gleich nach der Stromschliessung nicht eine einzelne Muskelzuckung, sondern ein Tetanus entsteht, der eine mehr oder minder geraume Zeit, manchmal die ganze Polarisation hindurch, unaufhörlich fortdauert (Pflüger's Schliessungstetanus). Ausserdem ist es bekannt, dass der Strom die sensiblen Nerven fortwährend erregt. Auf Grund dessen haben viele Forscher schon längst die Hypothese aufgestellt, dass der Strom fähig sei, während der ganzen Zeit, in der er den Nerven durchfliesst, erregend zu wirken (Bezold[1]), Wundt[2]), Engelmann[3]) und Grünhagen[4])).

Da aber diese Forscher keine genügenden Erklärungen für die dem allgemeinen Erregungsgesetze zu Grunde liegenden Thatsachen aufstellen konnten, so fanden ihre Ansichten keine weitere Verbreitung.

Aus der oben angeführten kurzen Uebersicht der gegenwärtigen Vorstellungen von der Erregungswirkung des Stromes ergiebt sich augenscheinlich, dass der Hauptgrund, weshalb man dem Strome die Fähigkeit abspricht, den Nerven fortwährend zu erregen, in der scheinbaren

---

[1]) Bezold, Unters. über electr. Erreg. d. Nerv. u. Musk. Leipzig 1861 S. 309.
[2]) Wundt, Unters. zur Mech. d. Nerv. u. Nervencentren. Erlangen 1871. S. 248.
[3]) Engelmann, Pflüger's Arch. III. 1870; IV. 1871.
[4]) Grünhagen, Pflüger's Arch. VI. 1872.

Unmöglichkeit besteht, die allgemein beobachteten Thatsachen auf eine andere Weise zu erklären. Wenn wir aber die von uns angenommene Fähigkeit des Katelectrotonus, die Nervenerregbarkeit zu vermindern, in Betracht ziehen, so können wir uns leicht überzeugen, dass dieses Urtheil nicht mehr nothwendig ist.

In der That kann man annehmen, dass der galvanische Strom im Bereiche seines Katelectrotonus eine constante Erregungsfähigkeit besitzt, dass jedoch die wirkliche Erregung, dank der schon von den ersten Polarisationsmomenten an sich entwickelnden Erregbarkeitsabnahme, nur im Momente der Stromschliessung hervortritt: sehr bald nach dem Beginne der Stromwirkung erscheint die Erregbarkeit des Nerven so stark herabgesetzt, dass der gegebene Strom die Reizschwelle nicht erreicht.

Diese Erklärung ist meiner Meinung nach im Stande, alle Grundthatsachen der electrischen Nervenerregung zu umfassen. In der That ist dieser Standpunkt fähig, sowohl die Analogien zwischen der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes, als auch das allgemeine Gesetz der electrischen Nervenerregung (von du Bois-Reymond) zu erklären.

Im § 4 des Capitels IV (S. 74), wo die Abhängigkeit der Effecte der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes von der dabei in Anwendung kommenden Unterbrechungsdauer untersucht wurde, haben wir gesehen, dass je kürzer die Unterbrechungen sind, desto leichter — d. h. bei desto stärkeren Strömen — Anfangszuckungen erlangt werden können (ich erinnere daran, dass Anfangszuckungen bei der Reizung eines normalen Nerven nur bei relativ schwachen Strömen entstehen). Die bezeichnete Thatsache kann so dargestellt werden, dass nämlich die Scala der Stromstärken, welche Anfangszuckungen erzeugen, desto breiter wird, je mehr die Unterbrechungen verkürzt werden. Bei unseren Experimenten konnte sich diese Verkürzung nur in gewissen (engen) Grenzen vollziehen, die durch die Eigenschaften des benutzten Unterbrechers gesetzt wurden; deshalb konnte auch die allmälige Ausdehnung der Scala der Stromstärken, die die Anfangszuckungen hervorrufen, ebenso nur eine gewisse Grenze erreichen. Es ist aber der Natur gemäss zu glauben, dass auch bei der weiteren Verkürzung der Unterbrechungsdauer die Erscheinungen den nämlichen Charakter behalten werden, d. h. dass die Ausdehnung der bezeichneten Scala immer weiter und weiter fortschreiten muss, so dass endlich, beim Uebergange zum constanten Strome, alle bei physiologischen Experimenten gebräuchlichen Stromstärken sich innerhalb der Grenzen dieser Scala bewegen werden.

Vom entwickelten Standpunkte aus ist es somit möglich, überhaupt

jede Existenz irgend eines princiellen Unterschiedes zwischen der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes auf den Nerven zu verneinen, so dass der letztere auch als ein intermittirender, nur mit unendlich kleiner Unterbrechungsdauer, betrachtet wird. Deswegen wird es klar, dass die nämliche Erklärung, die wir im vorigen Capitel der Erscheinung der Anfangszuckung gegeben haben, unverändert auch auf die Erklärung der Schliessungszuckung angewandt werden kann, d. h. auch hier müssen wir zulassen, dass die Erregung sich bloss deswegen auf die ersten Momente der Stromwirkung beschränkt, weil nur in diesen ersten Momenten die Nervenerregbarkeit eine genügende Höhe besitzt.

Da ich die Existenz eines principiellen Unterschiedes zwischen der Wirkung des intermittirenden Stromes, bei welchem die Stärke des Reizmittels beständige Schwankungen erduldet, und der Wirkung des constanten, bei welchem es gar keine Schwankungen giebt, gänzlich verneine, so muss ich auch den principiellen Unterschied zwischen der Erregungswirkung der absoluten Stromdichtigkeit und der Erregungswirkung ihrer Schwankungen verneinen. Von meinem Standpunkte läuft der ganze Unterschied zwischen der Wirkung beider Ströme ausschliesslich auf die Anwesenheit der Unterbrechungen in einem Falle und deren Abwesenheit im anderen hinaus. Die Unterbrechungen gewähren der herabgesetzten Erregbarkeit die Möglichkeit, sich mehr oder minder zu erholen; in Folge dessen ist der intermittirende Strom fähig, unter entsprechenden Bedingungen (bei genügender Unterbrechungsdauer) eine tetanische Reaction hervorzurufen, was für den constanten Strom, wo die einmal verringerte Erregbarkeit schon nicht im Stande ist, sich zu erholen, unmöglich erscheint.

Mit dieser Erörterung der Analogien zwischen der Wirkung des intermittirenden und des constanten Stromes haben wir schon zugleich die Erklärung für zwei von den im Anfange dieses Capitels (s. S. 150) erwähnten Thatsachen, auf welchen das Gesetz von du Bois-Reymond fusst, gegeben. Wir können nämlich jetzt begreifen, warum der Strom nur bei seiner Schliessung (resp. Verstärkung), nicht aber während des Durchfliessens im Nerven mit unveränderlicher Kraft eine wirkliche Erregung hervorruft. Also bleibt uns nur noch übrig, zu zeigen, weshalb die Erregungsgrösse durch die Steilheit des Stromanwachsens bestimmt wird.

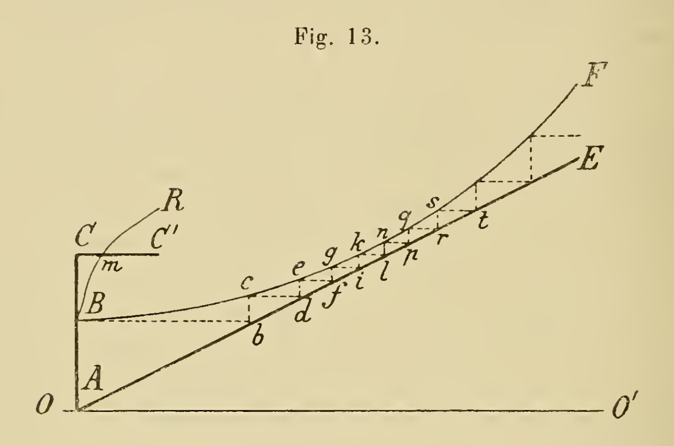
Um dies zu erklären, will ich alle Factoren, durch die von meinem Standpunkte aus die Nervenerregung bedingt werden muss, graphisch darstellen.

Diese Factoren sind folgende:

1. die Stärke des reizenden Stromes;
2. die Höhe der Nervenerregbarkeit.

Um das Resultat des Zusammenwirkens dieser Factoren graphisch darstellen zu können, müssen wir dieselben durch gleichartige Grössen ausdrücken. Dies wird möglich, wenn wir die Höhe der Nervenerregbarkeit vermittelst der Reizschwelle, d. h. vermittelst der zur Erzeugung der minimalen Erregung nöthigen Stromstärke darstellen. Bei einer solchen Darstellung wird der Effect der Stromwirkung sich unmittelbar aus der Zeichnung ergeben: alle Ströme, welche sich unter der Reizschwelle befinden, müssen wirkungslos bleiben, die Ströme aber, welche die Reizschwelle übertreffen, müssen eine Erregung hervorrufen, und zwar eine desto stärkere, je grösser dieses Uebermaass ist. Auf solche Weise nun ist die Fig. 13 construirt.

Fig. 13.



Auf dieser Figur sind 2 Fälle der Wirkung zweier Ströme auf den Nerven dargestellt, von denen der eine (schwächere) Strom seine volle Stärke plötzlich erreicht und auf derselben verharrt (auf den Nerven in Form einer gewöhnlichen Schliessung wirkt), der andere (stärkere) aber allmälig anwächst. Der Anfang der Wirkung beider Ströme ist im Momente A dargestellt, wobei die Stärke des ersteren durch die Linie ACC′, die des zweiten durch die Linie AE abgebildet wird. Linie AB stellt die Reizschwelle vor dem Anfange der Wirkung beider Ströme dar.

Aus dem früher Gesagten wissen wir schon, was sich ereignen muss, wenn man den Nerven durch die Schliessung eines Stromes reizt, dessen Stärke die Reizschwelle überschreitet (Linie AC ist grösser als Linie AB). Wir wissen, dass der Strom in diesem Falle nur in den ersten Momenten seiner Wirkung eine wirkliche Erregung hervorruft, welche aber in Folge einer raschen Abnahme der Nervenerregbarkeit sehr bald aufhört. Dieser Fall ist auf der Figur auf folgende Art dargestellt:

Die schon im Momente der Schliessung des Stromes beginnende

Erregbarkeitsabnahme wird durch die Linie BmR dargestellt, an der jeder Punkt durch seine Entfernung von der Abscisse die im gegebenen Momente vorhandene Reizschwelle bezeichnet. Da nach unserer Hypothese die Erregbarkeit des Nerven schon sehr bald nach der Stromschliessung so weit herabgesetzt wird, dass der gegebene Strom unter der Reizschwelle erscheint, so muss die Linie BmR als eine steil emporsteigende und sich mit der Linie CC′ unweit von deren Anfange (auf unserer Figur im Punkte m) durchschneidende dargestellt werden. Die Grösse der Nervenerregung, welche der Differenz zwischen der Stärke des reizenden Stromes und der Reizschwelle entsprechen muss, kann somit durch die Ordinatendifferenz der entsprechenden Punkte der Linien CC′ und BmR ausgedrückt werden. Wir sehen auf der Figur, dass diese Differenz, die in den ersten Augenblicken der Stromwirkung der Linie BC (d. h. der Differenz der Stromstärke und der Reizschwelle des normalen Nerven) gleichkommt, sich rasch vermindert und im Punkte m, wo die Linien CC′ und BmR sich durchkreuzen, gleich Null wird. Es ist klar, dass eine derartige graphische Darstellung der Wirkung der Schliessung des constanten Stromes auf den Nerven der von uns früher gegebenen Erklärung der Schliessungszuckung ganz genau entspricht.

Betrachten wir nunmehr, wie ein allmälig anwachsender (auf unserer Figur längs der Linie AE) Strom wirken muss, so ist es klar, dass auch dieser Strom nur in demjenigen Momente eine Erregung hervorzurufen vermag, wo seine Stärke die Reizschwelle übertrifft. Behielte die letztere während der Stromwirkung ihre Höhe unverändert (AB) bei, so müsste die Erregung im Momente b hervortreten. Aber kraft der Fähigkeit des Katelectrotonus, die Erregbarkeit zu vermindern, kann die Reizschwelle nicht unverändert bleiben, sondern muss, parallel mit der Reizverstärkung, immer höher und höher werden. Diese allmälige Steigerung der Reizschwelle ist auf der Figur durch die Linie BF abgebildet. Diese ist convex zur Abscisse dargestellt, weil die Stärke des auf den Nerven wirkenden Stromes mit der Zeit immer grösser wird, ein Grund, wesshalb auch die Erregbarkeitsabnahme immer rascher progressiren muss. Dieser letzte Umstand, d. h. die Nothwendigkeit zuzulassen, dass bei einem gleichmässigen (linearen) Stromanwachsen die Erregbarkeit mit der Zeit immer rascher abnimmt, zwingt uns zugleich, die Nothwendigkeit der Existenz solcher Fälle anzuerkennen, in denen der reizende Strom, bei einer gewissen Steilheit des Anwachsens, stets unter der Reizschwelle bleibt. Gerade solch ein Fall ist auf unserer Figur dargestellt: der Strom begegnet, nachdem er im Momente b die Höhe der Reizschwelle eines normalen Nerven erreicht hat, im Nerven einer etwas verringerten Erregbarkeit, so dass er sich um die Grösse cb unter der Reizschwelle befindet; im Momente d, wo er sich um die be-

zeichnete Grösse verstärkt hat, nimmt die Erregbarkeit auf's Neue etwas ab, so dass er auch jetzt unter der Reizschwelle steht u. s. w. u. s w., mit einem Worte: die Reizschwelle überragt in jedem gegebenen Momente die Stärke des auf den Nerven wirkenden Stromes.

Also haben wir zwei Fälle untersucht, — den einen, wo das plötzlich hervortretende Anwachsen des Stromes von einem Erregungsmaximum begleitet wird, — und den anderen, wo bei dem allmäligen Anwachsen des Stromes eine wirkliche Erregung gar nicht entsteht. Es ist augenscheinlich, dass zwischen beiden Extremfällen vermittelnde existiren müssen, die sich bei der Verstärkung der Steilheit des Stromanwuchses dem ersteren Falle, und unter umgekehrten Bedingungen dem zweiten nähern. Mit anderen Worten: die Grösse der Nervenerre- muss gung durch die Steilheit des Anwachsens des Stromes bestimmt werden.[1])

Also kann kein Zweifel darüber bestehen, dass alle Thatsachen, welche du Bois-Reymond bewogen haben, sein Erregungsgesetz aufzustellen, von meinem Standpunkte aus leicht verstanden werden können.

Auf Grund des oben Gesagten können wir somit zu dem folgenden Schlusse kommen:

Die Anerkennung der Fähigkeit des Katelectrotonus, den Nerven fortwährend zu erregen, indem sie die Effecte der Nervenreizung durch den intermittirenden und den constanten Strom von einem gemeinsamen Standpunkte aus betrachten lässt, steht nicht nur in keinem Widerspruche zu irgend einer von den festgestellten Thatsachen, sondern erklärt vielmehr dieselben auf's Leichteste und Einfachste.

Wenn wir diese Folgerung mit derjenigen zusammenstellen, zu der wir am Schlusse des vorigen Capitels gelangten, so können wir sagen, dass zur Erklärung sämmtlicher Nervenerregungserscheinungen an der Kathode sowohl des intermittirenden, als auch des constanten Stromes folgende beide Sätze genügen:

---

[1]) Ich will hier noch die Resultate von Fuhr (Pflüger's Arch. Bd. XXXIV. 1884) erwähnen, welcher auf experimentellem Wege Thatsachen ermittelt hat, die von meinem Standpunkte aus schon a priori vorhergesehen werden könnten. Indem er den Nerven durch einmalige lineare Stromschwankungen reizte und dabei sowohl die Momente der Auslösung der Zuckungen als die diesen Momenten entsprechenden Intensitäten des (allmälig anwachsenden) Stromes markirte, kam er zu folgenden Schlüssen: 1. je steiler der Strom anwächst, desto früher wird die Zuckung ausgelöst (S. 516) und 2. der sich schneller ändernde Strom vermag schon bei einer etwas geringeren absoluten Intensität zu reizen, als der sich langsamer ändernde. Diese Schlüsse, wie es leicht einzusehen ist, können aus der blossen Betrachtung der Fig. 13 gezogen werden.

1. Der Katelectrotonus ist fähig, den Nerven fortwährend zu erregen.
2. Der Katelectrotonus besitzt die Eigenschaft, eine im Laufe der Polarisation stets progressirende Erregbarkeitsabnahme hervorzurufen.

B. Die Pflüger'sche katelectrotonische Erregbarkeitssteigerung.

Nachdem wir somit neue Ansichten über die Nervenerregung durch den constanten Strom entwickelt haben. können wir nun zu unserer Summirungshypothese zurückkehren, um uns zu überzeugen, wie weit sie jetzt im Stande ist, die Veränderungen der Reizungseffecte im Gebiete des Katelectrotonus zu erklären. Vorerst aber muss ich das Wesentliche der erwähnten Hypothese dem Leser ins Gedächtniss rufen.

Die wesentliche Seite meiner Summirungshypothese besteht in der Annahme, dass die Summirung zweier sich im Nerven begegnenden Ströme ausschliesslich von ihrer Richtung dem Axencylinder gegenüber bestimmt wird; sie addiren sich gegenseitig im Falle, wo sie beide gleichzeitig entweder in den Axencylinder ein- oder ihm entfliessen, und umgekehrt, sie subtrahiren sich, wenn der eine von ihnen im gegebenen Nervenpunkt in den Axencylinder einfliesst, der andere aber aus ihm herausfliesst. Dabei wird augenscheinlich die Richtung beider Ströme, so weit sie durch das Galvanometer angedeutet wird, ganz ausser Acht gelassen; in diesem letzteren Sinne können beide Ströme eine und dieselbe Richtung besitzen und dennoch sich gegenseitig subtrahiren, ebenso wie es möglich ist, dass dieselben die Galvanometernadel nach zwei entgegengesetzten Seiten ablenken und dennoch sich addiren. In Rücksicht darauf, dass im Bereiche des Katelectrotonus ausschliesslich solche Stromfäden herrschen, die dem Axencylinder entfliessen, im Bereiche des Anelectrotonus aber ausschliesslich solche, die in denselben einfliessen, können wir unsere Hypothese noch auf eine andere Weise ausdrücken. Wir können nämlich sagen, dass gleichnamige Electrotonuszustände sich addiren, ungleichnamige aber sich subtrahiren. Also wird, vom Standpunkte unserer Hypothese, der Effect der Wirkung zweier Ströme auf den Nerven in jedem gegebenen Falle von der Gesammtsumme des durch sie hervorgerufenen Electrotonus bestimmt. Gerade in dieser Hinsicht steht die Summirungshypothese in einem unversöhnlichen Widerspruche zu den allgemein gültigen Ansichten, nach denen die Höhe des electrotonischen Zustandes, oder, was einerlei ist, die absolute Stromintensität nicht den geringsten Antheil an der Nervenerregung nehmen soll.

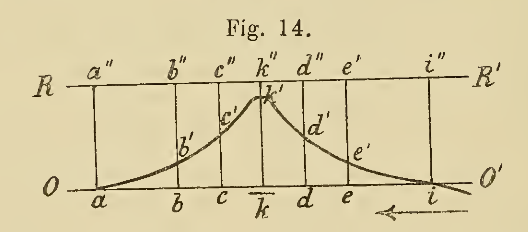
Nach dem Schlusse, zu welchem wir in der ersten Hälfte des gegen-

wärtigen Capitels gekommen, sehen wir unmittelbar, dass nun keine solche Schwierigkeit mehr vorhanden ist, wenigstens nicht mehr in Bezug auf die Erregung des Nerven durch den Katelectrotonus; ist der letztere fähig, den Nerven fortwährend zu erregen, so ist es augenscheinlich, dass die Erregungsgrösse durch seine absolute Höhe bestimmt werden muss. Dennoch halte ich es nicht für unnöthig, die gegebene Frage ausführlich zu analysiren. Eine derartige Analyse wird uns nämlich zeigen, dass nicht nur der Gesammtcharakter, sondern auch die kleinsten Einzelheiten der Erscheinungen sich unmittelbar aus dem im Laufe der vorhergehenden Untersuchungen erreichten Standpunkte ableiten lassen.

Die beiden Sätze, mit denen ich den ersten Theil des gegenwärtigen Capitels geschlossen habe, liefern uns, in Verbindung mit der Summirungshypothese, alles, was zur Beurtheilung der Effecte der Reizung des polarisirten Nerven im Bereiche des Katelectrotonus nöthig ist. Deswegen werde ich die weitere Erörterung rein deductiv führen. Dabei will ich, grösserer Augenscheinlichkeit halber, die Erscheinungen graphisch darstellen.

Nehmen wir an, dass die Linie OO′ auf der Figur 14 einen Nerven darstellt, auf den ein polarisirender Strom von der durch den Zeiger angedeuteten Richtung wirkt. Die Kathode des Stromes treffe den Nervenpunkt k (die auf der Figur nicht abgebildete Anode muss als weiter rechts von der Zeichnung gelegen gedacht werden). Der Katelectrotonuszustand, in welchem sich die auf beiden Seiten der Kathode des polarisirenden Stromes liegende Nervenstrecke befindet, ist durch die Curve a b′ c′ k′ d′ e′ i dargestellt. Ihre Ordinaten bb′, cc′, kk′ u. s. w. stellen also die Höhe des katelectrotonischen Zustandes vor, oder mit

Fig. 14.



anderen Worten, diejenige Intensität, welche in jedem gegebenen Nervenpunkte den katelectrotonischen (dem Axencylinder entfliessenden) Zweigen des polarisirenden Stromes eigen ist. Die Linie R R′ stellt durch ihre Entfernung von der Abscisse die Reizschwelle des normalen Nerven vor, d. h. diejenige Höhe des Katelectrotonus, welche der letztere besitzen muss, um in einem normalen Nerven die minimale Erregung hervorzurufen (ich stelle die Reizschwelle als die Höhe des katelectrotonischen Zustandes dar, und nicht als die Stromstärke, weil eine solche Dar-

stellungsweise bei unseren weiteren Betrachtungen bequemer erscheinen wird; es ist aber klar, dass dadurch nichts Wesentliches geändert wird).

Der auf der Figur abgebildete Fall erscheint in der Hinsicht vereinfacht, dass der polarisirende Strom sich unter der Reizschwelle befindet: die Reizschwelle a a'' ist grösser, als die höchste Ordinate der Curve a k' i. Ungeachtet einer so geringen Intensität des polarisirenden Stromes muss seine Wirkung zum Vorschein kommen, sobald wir irgend einen Nervenantheil durch einen Inductionsschlag, oder durch die Schliessung eines neuen Stromes reizen. Sie muss sich dadurch kund thun, dass jetzt zur Erlangung der minimalen Erregung schon ein schwächerer Reiz als vor der Polarisation erforderlich sein wird.

In der That, wenn wir den Nerven in den Punkten a, b, c, k, d, e und i reizen, d. h. wenn wir auf diese Punkte die Kathode des reizenden Stromes anwenden, und jedesmal die zur Erlangung der ersten Erregungsspuren erforderlichen Reizstärken zu ermitteln suchen, so werden wir augenscheinlich für jeden von den bezeichneten Punkten verschiedene Reizstärken finden. Diese letzteren müssen von solcher Art sein, dass die durch sie erzeugten Katelectrotonuszustände der Reihe nach den Grössen a a'', b' b'', c' c'', k' k'', d' d'', e' e'' und i i'' gleichen, mit anderen Worten, dass die Summe der katelectrotonischen Fäden, sowohl der im Nerven schon vorhandenen, als auch der neu hinzukommenden, die Höhe der Ordinaten der Linie RR' erreicht, weil nur bei einer solchen Höhe im Nerven die ersten Erregungsspuren zum Vorschein kommen können.[1])

Wenn wir die Grössen a a'', b' b'' u. s. w. betrachten, so bemerken wir, dass sie bei der Annäherung zum negativen Pole des polarisirenden Stromes immer kleiner und kleiner werden. Nehmen wir nun Rücksicht darauf, dass die Höhe des Katelectrotonus, der durch einen gegebenen Reiz hervorgerufen wird, in einem directen Verhältnisse zu der Intensität des letzteren stehen muss, so kommen wir zur Folgerung, dass für die Erzielung der minimalen Erregung im Katelectrotonusgebiete eines polari-

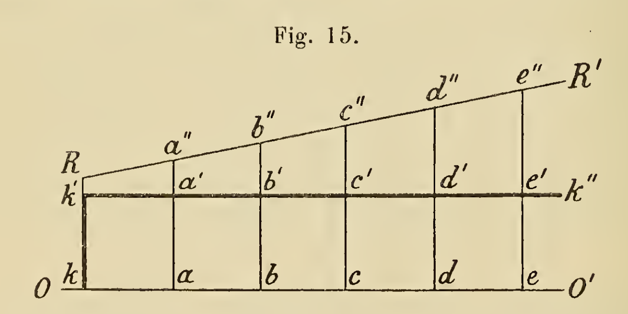
---

[1]) In den im Texte angeführten Betrachtungen berücksichtige ich nur denjenigen Katelectrotonuszustand, den der reizende Strom an seinem negativen Pole hervorruft. Das ist im Grunde nicht ganz richtig, da die katelectrotonischen Fäden sich nicht auf den Anwendungspunkt der Kathode beschränken, sondern sich über den Nerven mehr oder weniger weit nach beiden Seiten verbreiten. Diese habe ich ausser Acht gelassen, um unsere Betrachtungen zu vereinfachen, wobei die Beweiskraft der letzteren von einer derartigen Vernachlässigung augenscheinlich keinen Verlust erleiden kann: da die katelectrotonischen Fäden an der Kathode des reizenden Stromes im Vergleiche mit allen übrigen die grösste Intensität besitzen, so müssen sie vorzugsweise als Bestimmungsmoment des Hervortretens oder der Abwesenheit der Erregung dienen.

sirten Nerven ein schwächerer Reiz erforderlich ist, als für die Erzielung des nämlichen Effectes an einem normalen Nerven, und dabei ein desto schwächerer, je näher zum Pole der der Reizung ausgesetzte Punkt liegt. Wenn wir nach Pflüger die Stärke eines solchen Reizes für das Maass der Nervenerregbarkeit halten würden, so würden wir augenscheinlich zu dem bekannten Pflüger'schen Satze gelangen, dass die Erregbarkeit im Bereiche des Katelectrotonus gesteigert erscheine, und dabei desto bedeutender, je näher zum negativen Pole der zu untersuchende Nervenpunkt liegt

Die soeben angeführten Erörterungen beziehen sich auf den Fall der Reizung des Nerven während der ersten Polarisationsmomente, wo die wirkliche Nervenerregbarkeit (die nicht durch die Höhe des Katelectrotonus des neu hinzukommenden Reizes, sondern durch die zur Erlangung des Erregungsminimums erforderliche Gesammthöhe des Katelectrotonus bestimmt wird) noch nahezu normal bleibt. Wir wissen aber, dass im Gebiete des Katelectrotonus die Erregbarkeit sich im Zustande einer fortwährend progressirenden Abnahme befindet. Die Folgen, welche diese letztere herbeiführen muss, sind leicht vorauszusehen. Zur Erläuterung habe ich die Figur 15 construirt, worauf der Zustand dargestellt wird, in welchem sich der auf der vorigen Figur der Kathode des polarisirenden Stromes entsprechende Punkt k während der Polarisation befinden muss. Die Abscisse O O' stellt die Zeit dar. Durch die Linie k k' k'' wird die Intentistät der katelectrotonischen Zweige des im Momente k geschlossenen polarisirenden Stromes ausgedrückt.[1]) Die sich von der Abscisse all-

Fig. 15.



mälig entfernende Linie RR' stellt diejenige Erregbarkeitsabnahme vor, die sich im Laufe der Polarisation vollzieht, d. h. die allmälige Erhebung der Reizschwelle.

---

[1]) Der Einfachheit halber habe ich diese Linie als parallel der Abscisse gezeichnet. Dies ist nicht ganz richtig, weil die Grösse des Katelectrotonus, wie bekannt, im Laufe der Polarisation fortwährend abnimmt. Es ist aber leicht einzusehen, dass damit die Beweiskraft unserer Betrachtungen nur vergrössert werden kann.

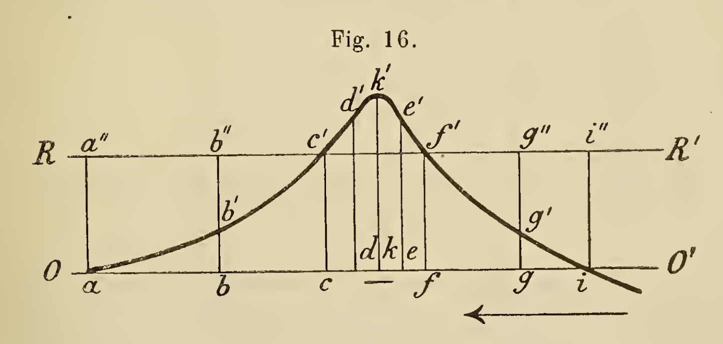
Aus der Betrachtung der angeführten Figur sieht man leicht, dass die in verschiedenen Polarisationsmomenten (a, b, c u. s. w.) angebrachten Reize, um eine minimale Erregung zu erzeugen, solche Grössen des Katelectrotonus hervorrufen müssen, die den Linien a′ a″, b′ b″, c′ c″ u. s. w. entsprächen. Da diese Linien mit der Polarisation immer grösser und grösser werden, so müssen wir augenscheinlich zu dem Schlusse gelangen, dass die Pflüger'sche primäre Steigerung der Erregbarkeit im Bereiche des Katelectrotonus mit der Zeit allmälig nachlassen muss, um endlich nach einer mehr oder minder geraumen Zeit durch die secundäre Abnahme ersetzt zu werden.

Das von den an der Kathode des polarisirenden Stromes vorgehenden Erscheinungen Gesagte kann ohne Weiteres auch auf die übrigen sich im Katelectrotonuszustande befindlichen Nervenpunkte angewandt werden. Der einzige Unterschied, der hier vorhanden sein muss, besteht darin, dass in einiger Entfernung vom Pole die Erregbarkeit in Folge der unbedeutenden Kraft des auf den Nerven wirkenden Katelectrotonus im Laufe der Polarisation langsamer abnehmen muss.

Der erörterte Fall erscheint, wie schon oben bemerkt, vereinfacht, weil die Intensität des polarisirenden Stromes sich unter der Reizschwelle befand. Die Frage wird aber auch dann wenig erschwert, wenn auf den Nerven ein starker polarisirender Strom wirkt.

Auf der Figur 16 ist nämlich ein Fall der Polarisation des Nerven durch einen solchen Strom dargestellt, bei welchem die Stärke der katelectrotonischen Zweige in der Nähe vom Pole diejenige übertrifft, die zur Erlangung der minimalen Erregung nöthig ist.

Fig. 16.



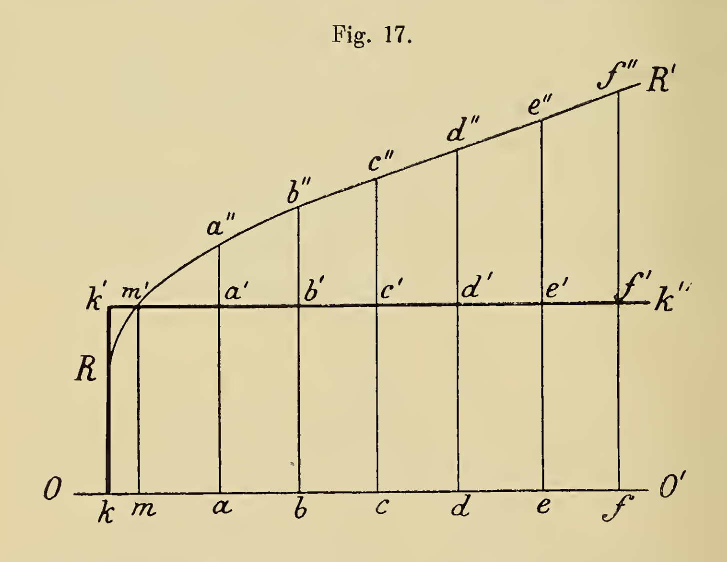
Es ist augenscheinlich, dass jetzt nur die Nervenstrecke c f unter neuen Verhältnissen und Gesetzen steht (die Bedeutung sämmtlicher Linien auf der Figur 16 ist die nämliche, wie auch auf der früher erörterten Figur 14), die Strecken a c und f i aber, insoweit als die Höhe ihres Katelectrotonus unter der Reizschwelle a a″ steht, in demselben Zustande verbleiben, in welchem sich auf der Figur 14 das ganze Kat-

electrotonusgebiet befand. Deswegen können in Bezug auf sie die oben angeführten Erörterungen wörtlich wiederholt werden.

Auf Grund der Fig. 16 kann man über die Erscheinungen an der Strecke c f jetzt nur sagen, dass hier eine Erregung entstehen muss, da die Stärke der auf den Nerven wirkenden katelectrotonischen Zweige die Reizschwelle übertrifft. Um aber die Frage zu lösen, was sich weiter ereignen muss, dazu ist die angeführte Figur nicht hinreichend. Dazu müssen die Veränderungen in Betracht gezogen werden, die der Nerv im Laufe der Polarisation erduldet. Fig. 17, auf welcher sämmtliche Bezeichnungen die nämliche Bedeutung behalten, wie auf der oben beschriebenen Fig. 15, kann uns namentlich zur Illustration der bezeichneten Veränderungen dienen.

Die angeführte Figur ist in Bezug auf den Punkt k, der der Kathode des polarisirenden Stromes entspricht, construirt. Wir sehen, dass vom Momente m, wo die durch die Schliessung des polarisirenden Stromes hervorgerufene Erregung aufhört (vergl. in dieser Hinsicht das auf

Fig. 17.



S. 154 in Bezug auf Fig. 13 Gesagte), alle Erscheinungen sich ganz ebenso gestalten müssen, wie dies oben in Bezug auf die Figur 15 erörtert worden ist. Wenn wir nämlich den Nerven in den nacheinanderfolgenden Polarisationsmomenten a, b, c u. s. w. reizen, so müssen wir zur Erzielung der minimalen Erregung solche Reize gebrauchen, bei denen die Intensität der katelectrotonischen Zweige der Reihe nach den Grössen a′ a″, b′ b″, c′ c″ u. s. w. gleichkommt, mit anderen Worten: wir müssen unser Bestreben darauf richten, dass die Stärke des neu hinzukommenden Katelectrotonus diejenige des schon vorhandenen bis zur Höhe der im

gegebenen Momente anwesenden Reizschwelle ergänzen könne. Nehmen wir die Intensität dieses neu hinzukommenden Katelectrotonus zum Maass für die Nervenerregbarkeit, so kommen wir wiederum zu der Folgerung, dass die nach der Schliessung des Stromes gesteigerte Erregbarkeit (die Linien a′ a″ und b′ b″ sind kleiner als die Reizschwelle des normalen Nerven k R) im Laufe der Polarisation immer weiter und weiter abnehmen und endlich weit unter die Norm sinken muss (die Linien d′ d″, e′ e″, f′ f″ sind bedeutend grösser als die Linie k R), d. h. wir kommen zu einem Schlusse, der mit den auf experimentellem Wege unmittelbar beobachteten Thatsachen in vollem Einklange steht.

Die Figuren 15 und 17 können ebenfalls zur Erörterung der Beziehungen zwischen den Effectgrössen dienen, die man bei der Reizung zweier, vom negativen Pole des polarisirenden Stromes verschieden entfernter Nervenstrecken beobachtet. In meiner früheren, wiederholt citirten Abhandlung wurde es gezeigt, dass gleich nach dem Beginne der Polarisation (den Pflüger'schen Gesetzen entsprechend) der Effect der Reizung des dem negativen Pole näher liegenden Nervenpunktes denjenigen des weiter liegenden überwiegt. Mit der Polarisation aber kehrt sich dieses Verhältniss um, so dass jetzt die Reizung des weiter vom Pole entfernten Nervenpunktes den stärkeren Effect giebt. Dass im Anfange der Polarisation der Effect der Reizung des dem Pole näher liegenden Punktes sich als stärker erweist, ist aus dem oben Gesagten völlig begreiflich: die katelectrotonischen Zweige des polarisirenden Stromes besitzen hier eine grössere Intensität. Die Umkehrung dieses Verhältnisses aber lässt sich ganz einfach durch die verschiedene Schnelligkeit der Entwickelung der Erregbarkeitsabnahme erklären; die Erregbarkeit nimmt in der Nähe des Poles bedeutend schneller ab, als in einiger Entfernung davon. Von der Nothwendigkeit einer solchen Umkehrung wird der Leser sich leicht überzeugen, wenn er die Figuren 15 und 17 betrachtet; indem diese Figuren die Wirkung eines schwachen (Fig. 17) und starken (Fig. 17) Katelectrotonus auf den Nerven darstellen, können sie zur Erläuterung der Zustände der verschieden weit vom Pole entfernten Nervenpunkte dienen.

Bei allen bisher angeführten Betrachtungen liessen wir die Richtung des reizenden Stromes ganz ausser Acht. Es ist augenscheinlich, dass diese Richtung nicht die geringste Rolle spielt, wenn nur die Kathode auf dem nämlichen Nervenpunkte verbleibt. Wenden wir uns z. B. zur Fig. 16 und setzen voraus, die Kathode des reizenden Stromes liege auf dem Nervenpunkt b, so kommen wir leicht zur Ueberzeugung, dass die Grösse des dabei entstehenden Effectes von der Lage der Anode gar nicht abhängig sein kann; mag nun die letztere im Punkte a oder im Punkte c liegen, jedenfalls werden wir nur dann im Stande sein, die

ersten Erregungsspuren zu erzielen, wenn die Intensität der katelectrotonischen Zweige des reizenden Stromes eine der Linie b′b″ entsprechende Grösse besitzen wird. Die Richtung des reizenden Stromes kann nur dann eine Bedeutung haben, wenn wir zur Reizung eine und dieselbe Nervenstrecke benutzen und wenn folglich bei der Aenderung der Stromrichtung die Kathode auf verschiedene Nervenpunkte fällt. Aber auch hier kann der Unterschied zwischen beiden Fällen nur quantitativ sein.

In der That, wenn wir annehmen, dass die reizenden Ströme in verschiedener Richtung auf die Nervenstrecke bc (Fig. 16) wirken, so muss die Kathode des Stromes bald mit dem Punkte b (bei abpolarer[1]) Richtung des reizenden Stromes), bald mit dem Punkte c (bei adpolarer[1]) Richtung) zusammentreffen, und in diesen Punkten muss die Summirung der katelectrotonischen Fäden des reizenden und des polarisirenden Stromes stattfinden. In Folge dessen muss der Unterschied zwischen den Effecten der Reizung der Nervenstrecke bc durch Ströme von verschiedener Richtung genau dem Unterschiede zwischen den Reizungseffecten zweier vom negativen Pole des polarisirenden Stromes verschieden entfernter Nervenpunkte entsprechen. Mit anderen Worten: alles oben über den letzteren Fall Gesagte kann auch hier wörtlich wiederholt werden. Und auch in meiner früheren Abhandlung wurde die Thatsache constatirt (s. S. 456—475), dass im Anfange der Polarisation die adpolaren Inductionsschläge, mit der Zeit aber die abpolaren einen stärkeren Effect hervorrufen.

Die letzteren Betrachtungen führen uns unmittelbar zur Erklärung der Thatsache, die in der letzten Zeit viele Forscher anzog (Fleischl[2]), Stricker[3]), Grützner[4]) bezüglich des Nerven und Biedermann[5]) bezüglich des Muskels). Ich meine nämlich die verschiedene Empfindlichkeit der dem Querschnitte anliegenden Nervenstrecke gegen die Reizung durch Ströme von verschiedenen Richtungen. Die hierher gehörenden Erscheinungen haben Grützner veranlasst, eine besondere Theorie der Summirung des Nerven- und des Reizstromes aufzustellen, — eine Theorie, die meiner Meinung nach auf einem ganz unrichtigen Principe beruht.

Bekanntlich existirt in der Nähe des Querschnittes ein Strom, der, wie es das Galvanometer zeigt, eine absteigende Richtung besitzt. Namentlich diesen Strom benutzte Grützner zur Aufklärung der von ihm

[1]) Die ad- und abpolare Richtung des reizenden Stromes wird auf den Pol des polarisirenden Stromes bezogen.

[2]) Fleischl, Wiener Sitzungsber. Bd. LXXII. III. Abth. 1875. Bd. LXXIV. III. Abth. 1876. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1882.

[3]) Stricker, Wiener Sitzungsber. Bd. LXXXIV. III. Abth. 1881.

[4]) Grützner, Pflüger's Arch. Bd. XXVIII. 1882.

[5]) Biedermann, Wiener Sitzungsber. Bd. LXXX. III. Abth. 1879.

entdeckten Thatsache, dass die Reizung der dem Querschnitte anliegenden Nervenstrecke durch absteigende Inductionsschläge wirksamer ist, als die Reizung durch aufsteigende. Er nimmt an, der gesteigerte Effect im ersteren und der schwächere im zweiten Falle hänge davon ab, dass beide Ströme, sowohl der reizende, als auch der Nervenstrom, im ersteren Falle eine und dieselbe, im zweiten aber die entgegengesetzte Richtung haben: bei dem Zusammentreffen der Richtungen addiren sich beide Ströme gegenseitig, bei dem Nichtzusammentreffen aber subtrahiren sie sich. Also hat Grützner seine Theorie gerade auf demjenigen Principe begründet, dass wir im Capitel I (s. S. 8) als unanwendbar auf die Erklärung der physiologischen Wirkung zweier im Nerven einander begegnenden Ströme anerkannt haben: der physiologische Effect kann keinesfalls von der Richtung abhängen, in welcher der Strom die Galvanometernadel ablenkt.

So lange die Theorie von Grützner ausschliesslich über die ihr zu Grunde gelegten Thatsachen zu verfügen hatte, widersprach sie wenigstens den beobachteten Erscheinungen nicht. Aber bald nach Grützner wurde von mir gezeigt (s. S. 476 meiner früheren Abhandlung), dass eine stärkere Empfänglichkeit gegen die Reizung durch absteigende Ströme im Vergleich zu den aufsteigenden erst einige Zeit nach dem Durchschneiden des Nerven beobachtet wird; umgekehrt, unmittelbar nach dem Nervendurchschneiden erzeugen die aufsteigenden Inductionsschläge einen weit stärkeren Effect: die letztere Thatsache steht nun im schroffsten Widerspruche zu Grützner's gesammter Theorie. Somit halte ich, wenn ich auch mit dem erwähnten Forscher hinsichtlich der Abhängigkeit der Erscheinungen vom Nervenstrome völlig übereinstimme, seine Theorie dennoch für unfähig, dieselben zu erklären und glaube, dass die erwähnten Thatsachen ebenfalls vom Standpunkte der von mir aufgestellten Summirungstheorie betrachtet werden müssen.

Dank Hermann[1]), wissen wir, dass der Nervenstrom die dem Querschnitte anliegende Nervenstrecke in einen Katelectrotonuszustand versetzt, dessen Stärke vom Querschnitte an allmälig abnimmt. Mit anderen Worten: diese Nervenstrecke wird in denselben Zustand versetzt, in welchem sich die der Kathode des polarisirenden Stromes anliegende Nervenstrecke befindet. Somit können unsere sämmtlichen Betrachtungen über die Erscheinungen im Bereiche des Katelectrotonus auch auf die Erscheinungen in der Nähe vom Querschnitte vollständig übertragen werden. Dadurch wird uns erstens begreiflich, weshalb in der gegebenen Strecke der Reizungseffect im Allgemeinen, im Vergleiche zur Norm, gesteigert erscheint und zweitens erhalten wir die Möglichkeit, sämmtliche

---

[1]) Vergl. Hermann, Handbuch d. Physiol. Bd. II. Th. I. S. 180.

auf experimentellem Wege constatirte Verschiedenheiten der Effecte, welche im Nerven durch reizende Ströme von verschiedener Richtung hervorgerufen werden, vollends aufzuklären: die nämliche Ursache, die im Gebiete des Katelectrotonus die grössere Wirksamkeit vorerst der adpolaren und dann der abpolaren Schläge bestimmt, muss auch in der Nähe vom Querschnitte die grössere Wirksamkeit erst der aufsteigenden und dann der absteigenden Ströme bedingen.

Folglich gewährt unsere Hypothese die Möglichkeit, alle Erscheinungsdetails, die im Katelectrotonusgebiete während der Polarisation beobachtet werden, vollkommen befriedigend zu erklären, und das nicht nur in dem Falle, wenn die Polarisation durch einen von aussen wirkenden Strom verursacht wird, sondern auch dann, wenn der Katelectrotonuszustand vom Nervenstrome selbst abhängt. Dabei lassen sich nicht nur diejenigen Thatsachen aufklären, die Pflüger constatirt hat, sondern auch die von mir gefundenen secundären Modificationen. Es ist leicht zu zeigen, dass die nämliche Hypothese auch auf die Erklärung derjenigen Erscheinungen, die gleich nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes beobachtet werden, anwendbar ist.

Nach Pflüger ruft die Oeffnung des polarisirenden Stromes eine Umkehrung der Nervenerregbarkeit hervor: die während der Polarisation gesteigerte Erregbarkeit erscheint jetzt nach der Oeffnung des Stromes bedeutend gesunken (die sogenannte negative Erregbarkeitsmodification). Die Nothwendigkeit einer solchen Umkehrung ist eine unmittelbare Folgerung von meinem Standpunkte. In der That ist nach unseren Ansichten die wirkliche Nervenerregbarkeit im Katelectrotonusgebiete herabgesetzt. Nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes, wenn seine katelectrotonischen Zweige aufhören, auf den Nerven zu wirken, und folglich den wirklichen Zustand der Nervenerregbarkeit nicht mehr maskiren können, muss dieser letztere in seiner vollen Stärke hervortreten. Zur Erläuterung des Gesagten können die oben angeführten Figg. 15 u. 17 dienen. Nehmen wir an, dass die Oeffnung des polarisirenden Stromes im Momente a stattfindet, wenn die Erregbarkeit während der Polarisation gesteigert zu sein scheint (die zur Erzeugung der minimalen Nervenerregung nöthige Katelectrotonushöhe $a'a''$ ist kleiner, als die Reizschwelle des unpolarisirten Nerven kR), dann kann — vorausgesetzt, dass der polarisirende Strom geöffnet und folglich im Nerven schon kein Katelectrotonuszustand mehr vorhanden ist — der reizende Strom den Nerven nur unter der Bedingung erregen, dass die Höhe des Katelectrotonus, den er hervorruft, die Grösse aa'' erreicht. Die letztere aber übertrifft kR bedeutend.

Auf diese Weise muss die Pflüger'sche Erregbarkeitsabnahme nach

der Oeffnung des polarisirenden Stromes nicht als eine sich erst in diesem Momente entwickelnde betrachtet werden: im Gegentheil, sie hat sich schon während der Polarisation entwickelt, nur kommt sie in diesem Momente zum Vorschein.

Die Erregbarkeitsabnahme, die gleich nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes beobachtet wird, dauert bekanntlich nicht lange, sondern wird eine kurze Zeit nachher durch die Errebarkeitssteigerung verdrängt. Das rasche Verschwinden der Erregbarkeitsabnahme lässt sich von unserem Standpunkte sehr einfach durch die Erholung des Nerven erklären. Warum aber diese Erholung sich nicht auf den Rückgang der Erregbarkeit zur Norm beschränkt, dafür kann ich zur Zeit noch keine genügende Erklärung geben.

Also von allen Erscheinungen der Modification des Reizungseffectes im Katelectrotonusgebiete, sowohl während, als auch nach der Polarisation, kann meine Summirungshypothese zur Zeit nur die endgültige Erregbarkeitssteigerung nach der Oeffnung des Stromes nicht erklären; alle übrigen ergeben sich aus ihr unmittelbar. Nehmen wir dabei noch darauf Rücksicht, dass die unerörterte Erscheinung in keinem Widerspruche zur Summirungshypothese steht, so können wir zu dem Schlusse gelangen, dass die im Katelectrotonusgebiete des polarisirten Nerven allgemein anerkannte Steigerung der Erregbarkeit eine scheinbare ist und nur das Summirungsresultat der katelectrotonischen Zweige des polarisirenden und des reizenden Stromes darstellt.

Mit diesem Schlusse beendige ich das gegenwärtige Capitel, da das von uns im Anfange (s. S. 149) aufgestellte Ziel nun völlig erreicht ist. In der That ist es uns gelungen, einerseits darzuthun, dass sämmtliche Haupterscheinungen der electrischen Nervenerregung, die in einem nahen Verhältnisse zu meiner Erklärung der Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom stehen, derselben nicht nur nicht widersprechen, sondern, im Gegentheil, von ihr sogar eine unerwartet einfache und klare Erläuterung erhalten. Andererseits haben wir uns überzeugt, dass die von uns im Capitel I in Bezug auf die Erscheinugen der Nervenreizung durch Inductionsstösse entwickelte Summirungshypothese auch auf diejenigen Erscheinungen übertragen werden kann, welche im Katelectrotonusgebiete des durch Kettenströme polarisirten Nerven beobachtet werden.

Somit können wir schon jetzt die Reihe von Capiteln, welche den

Erscheinungen im Gebiete des Katelectrotonus des intermittirenden und des constanten Kettenstromes gewidmet sind, gänzlich beschliessen und zu den entsprechenden Erscheinungen im Anelectrotonusgebiete übergehen. Die Untersuchung der letzteren wird nach demselben Plane, wie auch die der ersteren, angestellt werden, so dass auch hier als Ausgangspunkt aller weiteren Folgerungen Versuche mit der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom dienen werden. Namentlich die Darstellung der bei diesen Versuchen ermittelten Resultate wird den Inhalt des folgenden Capitels bilden.

Capitel VII.

Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes.

Die Methode, die ich bei der Untersuchung der Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes benutzte, ist vollkommen identisch mit derjenigen, die ich bei den im Capitel IV beschriebenen Experimenten anwandte, d. h. hier wie dort wurden die Erscheinungen in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen (wie Reizintensität, Polarisation, Dauer der Unterbrechungen u. s. w.) untersucht. Ich berufe mich deshalb in dieser Hinsicht auf alles früher Erörterte und beschränke mich hier nur auf folgende Bemerkungen.

Um die Erscheinungen zu untersuchen, die ausschliesslich an der Anode des intermittirenden Stromes stattfinden, musste ich die vorläufige isolirende Polarisation (s. Capitel III) in weit grösserem Maasse benutzen, als bei den entsprechenden Experimenten des Capitels IV. Ich konnte sie nur in dem Falle entbehren, wo zur Reizung starke aufsteigende Ströme benutzt wurden, die dem dritten Stadium des Zuckungsgesetzes gemäss wirken (d. h. Zuckungen nur bei der Oeffnung erzeugen). Aber bei allen Experimenten mit schwächerer Reizung wurde eine derartige Polarisation systematisch angewandt. Deswegen konnte ich augenscheinlich zur Reizung ausschliesslich Ströme von aufsteigender Richtung benutzen.

Uebrigens liess ich manchmal Abweichungen von den erörterten Regeln zu, indem ich bei schwacher Reizung ohne isolirende Polarisation arbeitete und dabei den Nerven sowohl mit auf-, als auch mit absteigenden Strömen reizte.

Dieses Verfahren erlaubte ich mir dann, wenn ich meine Versuche unter solchen Bedingungen anstellte, unter denen die Nervenreaction auf die Reizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes mir genau bekannt war und in einer einfachen Anfangszuckung bestand: es

ist klar, dass in solchen Fällen Alles, was uns der Muskel ausser der Anfangszuckung vorwies, vollends der Erregungswirkung der Anode zugeschrieben werden konnte.

Sämmtliche im Capitel III beschriebenen (s. S. 66) Vorsichtsmassregeln wurden auch bei den gegenwärtigen Experimenten in ihrem vollen Umfange befolgt.

Die gesammte Untersuchung der Effecte der Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes zerfällt in zwei Theile. Der erste entspricht vollends den ersten vier Abschnitten des Capitels IV, insofern, als hier wie dort hauptsächlich Erscheinungen untersucht werden, die bei der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom mit minimalen oder mit ungefähr minimalen Unterbrechungen beobachtet werden. Wenn dabei auch Ströme von anderem Charakter benutzt wurden, so geschah dies ausschliesslich, um die erwähnten Erscheinungen möglichst scharf hervortreten zu lassen. Der zweite Theil findet im Capitel IV nichts entsprechendes, da die Experimente, aus denen er besteht, durch gewisse Eigenthümlichkeiten hervorgerufen sind, die ausschliesslich der Erregungswirkung der Anode angehören. Sämmtliche Experimente, die im zweiten Theile beschrieben werden, wurden mit einem intermittirenden Strome angestellt, dessen Unterbrechungsdauer eine viel bedeutendere Grösse, als die minimale, besass.

Im gegenwärtigen Capitel werde ich ganz ebenso, wie ich es im Capitel IV gethan, nur thatsächliche Angaben darstellen, wobei ich alle theoretische Betrachtungen möglichst vermeiden werde. Alle mir zur Verfügung stehenden Thatsachen werden in besonderen Abtheilungen beschrieben werden, entsprechend den Bedingungen der Experimente, bei denen sie ermittelt worden sind.

I. Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes mit minimalen oder mit ungefähr minimalen Unterbrechungen.

E f f e c t e d e r R e i z u n g d e s n o r m a l e n N e r v e n. Beabsichtigen wir die Erscheinungen, die sich an der Anode bei der Reizung des vollständig normalen Nerven ereignen, zu untersuchen, so können wir aus leicht verständlichen Gründen den Nerven der vorläufigen isolirenden Polarisation nicht unterwerfen. Wollen wir daher unter solchen Bedingungen experimentiren, unter denen nur die Erregungswirkung der Anode zum Vorschein zu kommen vermag, so müssen wir uns auf den Fall der Nervenreizung durch einen starken aufsteigenden Strom beschränken. Dergleichen Versuche mit der Reizung des Nerven durch

den Strom von 4 D haben gezeigt, dass der Nerv auf eine derartige Reizung nur mit anhaltenden Tetani reagirt.

Dennoch müssen wir schon auf Grund der im Capitel IV angeführten Myogramme die Ueberzeugung gewinnen, dass die Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes sich nicht ausschliesslich in der Form von Tetani zu offenbaren braucht. Und in der That hat der Leser die Gelegenheit gehabt, sich aus manchen von den dort angeführten Myogrammen davon zu überzeugen, dass beim Aufhören der Reizung bisweilen einzelne Muskelzuckungen (Endzuckungen) entstehen. Da diese Erscheinung ausschliesslich bei den ohne die vorläufige isolirende Polarisation angestellten Versuchen beobachtet wurde [1]), so kann es keinem Zweifel unterliegen, dass dieselbe von den Erregungsprocessen an der Anode des intermittirenden Stromes bedingt wird.

Um mich zu überzeugen, ob bei der Reizung des normalen Nerven eine Endzuckung erlangt werden kann, stellte ich eine Reihe von Versuchen an, bei denen ich, ohne die isolirende Polarisation anzuwenden, zur Reizung schwache Ströme benutzte, also solche, bei denen gleichzeitig die Erregungswirkung, sowohl der Anode als auch der Kathode, hervortreten musste. Es versteht sich, dass ich für die Reizung nur solche Stärken des reizenden Stromes benutzen konnte, bei denen die Erregungswirkung der Kathode sich nur in der Form einer einfachen Anfangserregung offenbarte, d. h. nur äusserst schwache Ströme.

Wir treffen hier schon von Anfang an auf ein Hinderniss, welches darin besteht, dass schwache Ströme bei der Anwendung auf den mittleren Nerventheil (ich benutzte bei den Experimenten des gegenwärtigen Capitels, ebenso wie im Capitel IV, zur Reizung ausschliesslich den mittleren Nerventheil) im Allgemeinen keine Oeffnungserregung erzeugen (s. S. 67). Aber dieses Fehlen der Oeffnungserregung lässt sich vollkommen regelmässig nur dann darthun, wenn wir die Reizelectroden sowohl von der Abgangsstelle der Oberschenkeläste, als auch vom Verzweigungspunkte des Nervenstammes möglichst weit entfernen. Im entgegengesetzten Falle gelingt es aber, Oeffnungszuckungen manchmal schon bei der Wirkung sogar sehr schwacher Ströme zu erzielen. In solchen Fällen habe ich mich wirklich davon überzeugt, dass Endzuckungen auch bei der Reizung des normalen Nerven erzielt werden können [2]). Als Beispiel führ eich die beiden Myogramme unter NNo. 52 und 53 an, von denen das erstere bei der Wirkung des absteigenden

[1]) Von der Richtigkeit des Gesagten kann sich der Leser überzeugen, wenn er die Gesammtserie von Myogrammen überschaut, die zur Erläuterung der Experimente des Capitels IV angeführt wurden.

[2]) Im Grunde haben wir kein Recht, zu behaupten, dass der Nerv bei den in Rede stehenden Experimenten vollkommen normal gewesen sei: die Leichtigkeit, mit

Stromes auf den Nerven, das andere bei der Wirkung des aufsteigenden erlangt wurde. Wir sehen aus beiden, dass der intermittirende Strom sowohl im Schliessungsmomente, als auch im Oeffnungsmomente Einzelzuckungen erzeugt (alle Bezeichnungen auf den oben angeführten und auf den folgenden Myogrammen bleiben die nämlichen, wie wir sie schon früher gebraucht haben[1]).

Also können wir aus den beschriebenen Experimenten folgenden Schluss ziehen:

Erster Satz. Bei der Wirkung der Anode des intermittirenden Stromes auf den normalen Nerven beobachtet man Endzuckungen bei schwacher[2]) und anhaltende Tetani bei starker Reizung.

Effecte der Reizung des einer vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzten Nerven. Bei den hier in Rede stehenden Experimenten setzte ich den Nerven einer vorläufigen isolirenden Polarisation aus; in Folge dessen erhielt ich die Möglichkeit, aufsteigende Ströme von beliebiger Intensität zur Reizung zu gebrauchen und dabei sicher zu sein, dass der beobachtete Effect ausschliesslich von der Erregung an der Anode abhängt. Indem ich unter solchen Bedingungen eine ganze Reihe von Versuchen mit der Reizung des Nerven durch einen allmälig zunehmenden intermittirenden Strom anstellte, habe ich folgende charakteristische Erscheinungsreihe beoachtet.

In der Uebereinstimmung mit der bekannten Thatsache (s. S. 67), dass die Oeffnungserregung im Allgemeinen nur bei relativ starken Strömen entsteht, bleiben schwache Ströme gänzlich wirkungslos, nur bei verhältnissmässig starker Reizung werden die ersten Erregungsspuren beobachtet. Diese letzteren kennzeichnen sich durch das Erscheinen von Endzuckungen: bei der Schliessung des reizenden Stromes, so wie auch während der ganzen Zeit seines Durchfliessens im Nerven, bleibt der Muskel im Zustande absoluter Ruhe und zuckt erst im Momente des Aufhörens der Reizung. Als Beispiel führe ich das Myogramm unter No. 54 an.

---

welcher Oeffnungszuckungen erzielt wurden, zeigt eher, dass hier anomale Verhältnisse herrschen, analog denen in der Nähe des Querschnittes (s. weiter das Capitel IX).

[1]) Auf den angeführten Myogrammen sind, ausser den Versuchen der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom mit gleicher Richtung einzelner Stösse, noch die Resultate der Reizung durch einen solchen Strom notirt, dessen Stösse eine abwechselnde Richtung besitzen. Im Texte erwähne ich solche Versuche nicht und werde sie überhaupt nicht erwähnen, da wir schon aus dem Capitel IV wissen, dass sie unter allen möglichen Bedingungen nur ein einziges Resultat erzeugen können, nämlich Tetani, die während der ganzen Reizungsperiode dauern.

[2]) Freilich nur in dem Falle, wenn der Nerv sich fähig erweist, überhaupt auf die Oeffnung schwacher Ströme zu reagiren.

Verstärken wir den Strom immer mehr und mehr, so erhalten wir noch einige Zeit lang Endzuckungen allein, bis endlich der Nerv anfängt, auf die Reizung mit Tetani zu reagiren, welche folgenden eigenthümlichen Charakter besitzen: erstens beginnen dieselben nicht sogleich nach dem Anfange der Reizung, sondern erst eine mehr oder minder geraume Zeit nachher, und zweitens, nachdem sie in der Form einer sehr schwachen Muskelcontraction angefangen, steigen sie nur äusserst allmälig und stellen dabei eine Reihe von höchst unregelmässigen Steigerungen und Senkungen dar. Allmälig steigend erreichen die Tetani schliesslich ihre maximale Höhe. Unterbricht man in diesem Momente die Reizung, so wird nichts Eigenthümliches beobachtet: der maximale Tetanus wird durch einen Zustand von Ruhe ersetzt. Hat aber der Muskel im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes das mögliche Verkürzungsmaximum noch nicht erreicht, so erhält man eine momentane Hebung der Tetanuscurve in der Gestalt einer einfachen Endzuckung.

Die Tetani behalten den beschriebenen Charakter bei in einer ziemlich geräumigen Dimension der Scala von Stromintensitäten, nur mit dem Unterschiede, dass sie bei der Verstärkung der Reizung immer früher und früher anfangen und, einmal begonnen, immer steiler anwachsen. Dieses dauert so lange, bis endlich anhaltende Tetani erscheinen, die plötzlich (soweit darüber bei der gewöhnlichen Beobachtungsmethode geurtheilt werden kann), sogleich nach dem Beginne der Reizung eintreten. Sind einmal derartige Tetani erlangt, so erscheinen sie fortwährend auch bei der weiteren Verstärkung der Reizung.

Alle beschriebenen Erscheinungsstadien können auf den Myogrammen unter NNo. 55 und 56 besichtigt werden.

Um die verschiedensten Arten der Nervenreaction auf die Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes irgendwie unterscheiden zu können, werde ich bei der weiteren Darlegung einerseits stets von Endzuckungen und anhaltenden Tetani reden, andererseits von Uebergangsformen der Tetani. Unter anhaltenden Tetani werde ich solche verstehen, die im Momente der Reizung selbst beginnen und sogleich ihre maximale Höhe erreichen[1], unter den Uebergangsformen aber solche Tetani, die erst einige Zeit nach dem Anfange der Reizung beginnen, langsam anwachsen und die charakteristische Eigenschaft zeigen, im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes plötzlich zu steigen (vorausgesetzt freilich, dass die Reizung zur gehörigen Zeit aufhört).

Dabei werde ich zwischen den Uebergangsformen noch höhere und

---

[1]) Wiederum wiederhole ich: so viel wir darüber urtheilen können, indem wir die Reizungseffecte bei der langsamen Cylinderdrehung aufschreiben.

niedrigere unterscheiden, je nachdem sie sich mehr oder weniger den anhaltenden Tetani nähern.

Nachdem wir die angedeuteten Bezeichnungen eingeführt haben, können wir auf Grund der beschriebenen Versuche zur Ergänzung des ersten Satzes (s. S. 172) noch folgenden aufstellen:

Zweiter Satz. Auf Ströme von mittlerer Intensität reagirt der Nerv durch Uebergangsformen von Tetani, und zwar durch desto höhere, je stärker die Reizung ist.

Die Wirkung der vorläufigen Polarisation auf die Effecte der Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes. Die vorläufige Polarisation, die, wie wir wissen, einen sehr starken Einfluss auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes ausübt, bleibt nicht ohne Einfluss auch auf die sich an der Anode vollziehenden Processe. Doch zeichnet ihr Einfluss im gegebenen Falle sich dadurch aus, dass man hier keinen mehr oder minder starken Unterschied zwischen der Polarisationswirkung der Kathode und derjenigen der Anode bemerken kann. Deswegen werde ich den Einfluss beider gleichzeitig beschreiben.

Sämmtliche Experimente über den Einfluss der vorläufigen Polarisation führen mich zu folgendem Satz:

Dritter Satz. Eine mehr oder minder lange dauernde vorläufige Polarisation, sowohl durch die Kathode, als auch durch die Anode, versetzt den Nerven in einen solchen Zustand, dass die Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes anstatt anhaltender Tetani, wie vor der Polarisation, einfache Endzuckungen (oder überhaupt niedrigere Tetanusformen) erzeugt.

Als Beispiel führe ich die Myogramme unter NNo. 57—62 an.

Am deutlichsten und sichtbarsten kann der in Rede stehende Einfluss der vorläufigen Polarisation in dem Falle beobachtet werden, wenn zur Reizung solche Ströme benutzt werden, die eine kaum für die Erzeugung anhaltender Tetani hinreichende Intensität besitzen, zur Polarisation aber — starke Ströme. Namentlich unter solchen Bedingungen wurden die Myogramme unter NNo. 57 (vorläufige Polarisation von aufsteigender Richtung) und 58 (vorläufige Polarisation von absteigender Richtung) erlangt.

Auf dem ersteren sehen wir, dass schon nach einer relativ sehr kurzen Polarisation sichtbare Veränderungen der Reizungseffecte ermittelt werden können. Bei dem auf dem bezeichneten Myogramm dargestellten Versuche wurde nämlich die Polarisation dreimal wiederholt. Nach der ersten Polarisation, die weniger als eine Minute dauerte (die Polarisationsdauer kann in Secunden an der Zahl der Zacken der Linie, welche die Zeit notirt, abgezählt werden), veränderte der erlangte Tetanus

schon ein wenig seine Form, nach der zweiten (die zwei Minuten dauerte) verwandelte er sich in einen typischen Tetanus mit Uebergangscharakter und schliesslich nach der dritten (die gleichfalls zwei Minuten gedauert) erschienen schon einfache Endzuckungen. Bei dem Experiment, das dem Myogramm unter No. 58 entspricht, dauerte die Polarisation eine längere Zeit (5 Minuten) und deswegen erschienen sogleich nach ihrem Aufhören einfache Endzuckungen.

Obgleich der Einfluss der vorläufigen Polarisation am leichtesten bei der Benutzung von relativ schwachen Reizströmen zum Vorschein kommt, so kann dennoch ein ebenso entschiedenes Resultat, wie die oben beschriebenen, selbst bei so starken Strömen, wie 4 D ohne Rheochord ermittelt werden. Bei derartigen Experimenten thut es, wenn der angewandte Strom wie ein starker Strom in Pflüger's Sinne wirkt (d. h. bei der Schliessung keine Zuckungen erzeugt), allerdings nicht Noth, zur vorläufigen Nervenisolirung Zuflucht zu nehmen.

Ich muss aber bemerken, dass man hier zur Verwandlung des anhaltenden Tetanus in eine einfache Endzuckung den Nerven während einer geraumen Zeit (viele Minuten) polarisiren muss; ausserdem ist es noch nöthig, wie davon weiter noch die Rede sein wird, den Unterbrecher möglichst genau auf die minimale Unterbrechungsdauer einzustellen. In Folge der bezeichneten Schwierigkeiten wird die Erlangung solcher Myogramme, auf denen der ganze Gang des Experimentes notirt ist, höchst mühevoll. Daher führe ich nur diejenigen Myogramme (NNo. 59 und 60) an, welche die letzten Stadien zweier Experimente illustriren, von denen bei einem die aufsteigende und beim anderen die absteigende vorläufige Polarisation benutzt wurde.

Beim ersteren war der Nerv, schon vor dem Anfange des Notirens, drei Minuten lang der Polarisationswirkung ausgesetzt gewesen. Dies zeigt sich auf dem Myogramm namentlich durch den etwas schwankenden Charakter des bei der Reizung erzielten Tetanus. Nach der folgenden neuen, wiederum drei Minuten langen Polarisation erhielt der Tetanus einen deutlichen Uebergangscharakter, und nach einer weiteren fünf Minuten langen traten schon einfache Endzuckungen ein. Auf dem Myogramm No. 60 sind nur Endzuckungen angeführt, die bei einer Nervenzeizung nach einer 13 Minuten langen absteigenden Polarisation erzielt wurden.

Ich muss noch die bisher unbeschrieben gebliebenen Myogramme unter NNo. 61 und 62 erwähnen. Bei den Experimenten, deren Resultate sie darstellen, benutzte ich zur Reizung und zur Polarisaton einen Strom von der nämlichen Intensität (1 D) und von der nämlichen Richtung, einer absteigenden im ersten und einer aufsteigenden im zweiten Falle, und setzte dabei den Nerven keiner isolirenden Polarisation aus. Freilich musste ich deswegen gleichzeitig mit der Erregung sowohl an der Anode als auch an der Kathode des reizenden Stromes zu thun haben. Da die vorläufige Polarisation, wie es uns aus den im Capitel IV dargestellten Thatsachen bekannt ist, den Nerven auf die Reizung durch

die Kathode des intermittirenden Stromes mit einfachen Anfangszuckungen reagiren lässt, so glaubte ich nun, dass die Erregungswirkung der Kathode in unserem Falle nicht im Stande sein würde, die Beobachtung der von der Erregungswirkung der Anode abhängenden Effecte zu verhindern. Und in der That hat die Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom nach der Beendigung der Polarisation, wie dies die Myogramme zeigen, in beiden Experimenten Anfangszuckungen (Erregung an der Kathode) und Endzuckungen (Erregung an der Anode) erzeugt.

Wirkung der Polarisation auf die Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes. Der Polarisationseinfluss auf die Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes erweist sich verschieden, je nachdem die Polarisationsrichtung ist. Deswegen wird die Wirkung der Polarisation durch die Anode gesondert von derjenigen durch die Kathode beschrieben.

a) Wirkung der Polarisation durch die Anode. Sämmtliche Versuche, die zur Aufklärung der Wirkung der Polarisation durch die Anode angestellt wurden und bei denen folglich die Richtung des polarisirenden Stromes mit derjenigen des reizenden zusammentraf (beide besassen eine aufsteigende Richtuug), erzeugten ein und dasselbe Resultat, welches folgendermaassen formulirt werden kann.

Vierter Satz. Der Nerv geräth unter dem Einflusse der Polarisation durch die Anode in einen Zustand, bei welchem die Erzielung von Endzuckungen mehr oder minder bedeutend erleichtert wird, so dass derselbe intermittirende Strom, der vor der Polarisation Tetani erzeugte, nun während ihrer Wirkung einfache Endzuckungen (oder überhaupt niedrigere Tetanusformen) hervorbringt.

Um sich von der Richtigkeit des angeführten Satzes zu überzeugen, ist es am bequemsten, auf folgende Weise zu verfahren.

Wenn die vorläufige isolirende Polarisation beendigt ist, muss man vorerst zur Reizung einen Strom von solcher Intensität auswählen, die für die Erzeugung anhaltender Tetani kaum hinreichend wäre, und erst nachher den Nerven abwechselnd ohne und während der Polarisation reizen. Der polarisirende Strom darf bei derartigen Experimenten nicht zu stark sein, sonst kann die Nervenreizung aus selbstverständlichen Gründen (in Folge der Identität der Richtung des reizenden und des polarisirenden Stromes fällt die sich unter dem Einflusse des ersteren entwickelnde Erregung in das Anelectrotonusgebiet des zweiten) während der Polarisation völlig unwirksam werden. So wurde namentlich das Myogramm unter No. 63 erlangt, das uns zeigt, wie entschieden die Erscheinungen sich gestalten, die unter diesen Bedingungen beobachtet werden: ein starker Tetanus ohne Polarisation wird sogleich durch

eine einfache Endzuckung (oder durch eine von den niedrigsten Tetanusübergangsformen) ersetzt, sobald der polarisirte Strom geschlossen wird.

Der in Rede stehende Einfluss der Anodenpolarisation kann ebenfalls auch bei der Benutzung zur Reizung starker aufsteigender Ströme gezeigt werden, bei denen eine vorläufige Nervenisolirung ganz überflüssig erscheint. Bei derartigen Experimenten ist es aber nöthig, auf eine besondere Weise zu verfahren, wenigstens dann, wenn wir die Erscheinung in einer ebenso nachdrücklichen Form zu erzielen beabsichtigen.

Im Capitel IV, namentlich da, wo die Rede von der Untersuchung des Polarisationseinflusses auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode des intermittirenden Stromes war, wurden ausführlich diejenigen Gründe entwickelt, die uns bei diesen Experimenten zwingen, jedesmal einen dem gegebenen Falle entsprechenden Charakter der Reizung zu wählen (s. SS. 94—98). Ebendaselbst wurde die Bemerkung gemacht, dass bei der Nichtbefolgung dieser Bedingung der unbestreitbar vorhandene Polarisationseinfluss unserer Beobachtung gänzlich entgehen kann. Alles dort Gesagte kann Wort für Wort auch von dem Polarisationseinflusse auf die Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes bewiesen werden. Dazu genügt es nur überall, wo auf den citirten Seiten die Rede von Anfangszuckungen und Anfangstetani ist, sie durch die Worte: Endzuckungen und Tetanusübergangsformen zu ersetzen. Indem ich es dem Leser selbst überlasse, sich von der Existenz einer vollständigen Analogie zwischen den beiden zusammengestellten Fällen zu überzeugen, werde ich in meinen Erörterungen diese Analogie als zweifellos betrachten.

In Bezug auf unseren Fall, wo es erforderlich ist, zu zeigen, dass die anhaltenden Tetani fähig sind, sich unter dem Einflusse der Polarisation durch die Anode in einfache Endzuckungen zu verwandeln, muss man also folgende Bedingung befolgen. Man muss zur Reizung solche Ströme benutzen, die bei der Anwendung auf einen unpolarisirten Nerven kaum noch fähig sind, anhaltende Tetani zu erzeugen. Diese Bedingung wurde namentlich bei den oben beschriebenen Experimenten befolgt, wo wir zur Reizung nur verhältnissmässig schwache Ströme benutzten. Benutzen wir aber starke Ströme, wie dies in unserem Falle nöthig ist, so gebrauchen wir augenscheinlich ein Reizmittel von einem Charakter, der sich schon als zu günstig für die Erzielung einer tetanischen Reaction erweist. Um aber dieses Reizmittel dessen ungeachtet für die Experimente geeignet zu machen, bleibt uns nur das einzige übrig, den Zustand des Nerven selbst auf eine entsprechende Weise zu verändern.

Wir wissen schon (s. S. 174), dass die vorläufige Polarisation während einer hinlänglichen Zeit fähig ist, den Nerven in einen solchen Zu-

stand zu versetzen, dass die Reizung durch einen starken intermittirenden aufsteigenden Strom nicht mehr anhaltende Tetani, sondern nur einfache Endzuckungen erzeugt. Ein so schroffer Uebergang von einem Zustande zum anderen erfolgt, wie wir wissen, nur in dem Falle, wenn die vorläufige Polarisation eine relativ geraume Zeit gedauert hat. Lassen wir sie aber während kürzerer Frist auf den Nerven wirken, so muss der letztere in irgend einen von denjenigen Zuständen versetzt werden, die eine vermittelnde Stelle zwischen den soeben angeführten einnehmen. Unter diesen Zuständen muss sich allerdings auch ein solcher befinden, bei dem der Nerv schon kaum fähig ist, auf die Reizung durch Tetani zu reagiren. Bei unseren Versuchen müssen wir nämlich einen in solchem Grade veränderten Nerven gebrauchen. Es versteht sich, dass in diesem Falle die Polarisation, wenn sie nur wirklich die Eigenschaft besitzt, die Erzielung von Endzuckungen statt der Tetani zu befördern, alle nöthigen Bedingungen zur Aeusserung dieser Eigenschaft findet.

Zur Erörterung des Ganges der Experimente, als auch der dabei entstehenden Resultate, führe ich aus der grossen Anzahl der von mir erhaltenen vollkommen gleichartigen Myogramme dasjenige unter der No. 64 an.

Wir ersehen daraus, dass die ersten beiden Proben der Reizung des Nerven durch einen starken (4 D[1]) mit vollem Widerstande des Rheochords) aufsteigenden intermittirenden Strom, die vor dem Beginne der Polarisation angestellt wurden, anhaltende Tetani erzeugten. Als gleich darauf der polarisirende Strom (2 D mit vollem Rheochordwiderstande) geschlossen wurde, äusserte sich seine Wirkung sogleich durch eine sehr merkliche Modification der Tetanusform. Namentlich begann der Tetanus nicht genau im Anfangsmomente der Reizung, wie vor der Polarisation, sondern erst einige Zeit nachher. Ausserdem ging auch der Tetanusanwuchs minder schroff vor sich. Mit einem Worte: unter dem Einflusse der Polarisation erwirbt der Tetanus sogleich einen deutlich ausgedrückten Uebergangscharakter. Dieser Uebergangscharakter der Tetani tritt im Laufe der fortdauernden Polarisation, wie es das angeführte Myogramm zeigt, immer mehr und mehr hervor, bis man endlich einfache Endzuckungen erhält. Da die Erlangung der letzteren als Beweis dafür dienen konnte, dass die erforderliche Vorbereitung des Nervenzustandes schon erzielt sei, so wurde die Polarisation abgebrochen. Die Reizung des Nerven erzeugte nun (nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes) Tetani, die

---

[1]) Auf den Myogrammen des gegenwärtigen Capitels, ebenso wie auch auf den im Capitel IV angeführten, muss man überall, wo nur die Anzahl der zur Reizung oder Polarisation benutzten Elemente angezeigt wird, darunter verstehen, dass ein voller Rheochordwiderstand eingefügt wurde.

sich ihrem Charakter nach von den gewöhnlichen anhaltenden Tetani nicht unterschieden; dennoch verwandelten sie sich unter dem Einflusse der wiederholt angewandten Schliessungen des polarisirenden Stromes sogleich in einfache Endzuckungen, so dass jetzt das Bild entstand, welches dem auf dem Myogramm unter No. 63 dargestellten ganz ähnlich ist.

b) Der Einfluss der Polarisation durch die Kathode auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes (der reizende Strom und der polarisirende wirken in entgegengesetzten Richtungen, der erstere in aufsteigender, der zweite in absteigender) erweist sich als gerade entgegengesetzt der eben beschriebenen Wirkung der Polarisation durch die Anode, so dass ihre Wirkung auf folgende Weise formulirt werden kann.

Fünfter Satz. Der Nerv geräth unter dem Einflusse der Polarisation durch die Kathode in einen Zustand, bei welchem die Erlangung anhaltender Tetani mehr oder minder bedeutend erleichtert wird, so dass derselbe intermittirende Strom, der vor der Polarisation einfache Endzuckungen erzeugte, während ihrer Wirkung anhaltende Tetani ergiebt.

Am leichtesten können wir uns von der Richtigkeit des aufgestellten Satzes überzeugen, wenn wir zur Reizung einen Strom von solcher Intensität benutzen, dass nur eben noch einfache Endzuckungen entstehen (der Nerv muss der vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt werden). Dann erzeugt die nämliche Reizung während einer sogar sehr schwachen Polarisation schon anhaltende Tetani. Als Beispiel führe ich ein Myogramm unter No. 65 an.

Der in Rede stehende Polarisationseinfluss kann auch bei der Benutzung starker Reizströme gezeigt werden. Dazu ist es aber nöthig, den Nerven vor dem Beginne der Experimente in einen solchen Zustand zu versetzen, dass die Reizung durch starke aufsteigende Ströme nicht Tetani, sondern einfache Endzuckungen hervorbringt, d. h. es ist nöthig, den Nerven eine genügende Zeit der vorläufigen Polarisation auszusetzen. Danach gelingt es sehr leicht, sich zu überzeugen, dass, sobald der polarisirende Strom geschlossen wird, die Endzuckungen sich gleich in Tetani verwandeln.

Derartige Experimente gewannen in der Beziehung ein grosses Interesse, dass es bei verschiedenen Intensitäten des polarisirenden Stromes gelang, verschiedene Tetanusformen zu erhalten, die in bedeutendem Grade den uns bekannten Uebergangsstadien zwischen einfachen Endzuckungen und anhaltenden Tetani gleichen. Als Beispiele will ich die drei Myogramme unter NNo. 66, 67 und 68 beschreiben, die ich am nämlichen Nerven der Reihe nach erhielt. Der reizende Strom war bei allen drei Versuchen 4 D mit vollem Rheochordwiderstande, der polari-

sirende 2D mit vollem Rheochordwiderstande (2000 Centimeter Draht) beim ersten Experimente, mit 400 cm. Draht im zweiten und 100 cm. Draht im dritten. Der Nerv wurde nach der vorläufigen isolirenden Polarisation so lange der Wirkung eines aufsteigenden Stromes (4D mit vollem Rheochordwiderstande) ausgesetzt, bis der intermittirende Strom (von nämlicher Intensität und Richtung) anfing, einfache Endzuckungen zu erzeugen. Sodann wurden die Effecte der Reizung vor und während der Polarisation durch die Kathode untereinander verglichen und die Resultate auf den angeführten Myogrammen notirt. Wir sehen, dass während der Polarisation auf dem ersten Myogramm ein gewöhnlicher anhaltender Tetanus erschien; auf dem zweiten der Tetanus eine bedeutend kleinere Höhe besass, dabei aber im Momente des Abbrechens der Reizung eine deutlich ausgedrückte Steigerung in Form einer einzelnen Muskelzuckung beobachtet wurde; auf dem dritten Myogramm, wo die Polarisation am schwächsten gewesen, entstand ein noch niedrigerer Tetanus, dafür erreichte aber die Muskelzuckung im Momente des Abbrechens der Reizung eine noch grössere Höhe. Der Unterschied der beschriebenen Tetani von den uns schon bekannten Uebergangsformen besteht nur in dem Charakter ihres Anwachsens: bei den gewöhnlichen Uebergangsformen wächst nämlich der Tetanus allmälig an, hier aber erreicht er seine Grenzhöhe sogleich nach dem Anfange der Reizung.

Ich mache den Leser auf die soeben beschriebenen Experimente besonders aufmerksam, da sie, wie wir es im folgenden Capitel sehen werden, für die Aufklärung der sämmtlichen Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes sehr wichtig sind.

Eifluss der Unterbrechungsdauer auf die Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes. Sämmtliche bis jetzt beschriebenen Erscheinungen wurden bei der Reizung des Nerven durch einen Strom mit minimaler oder ungefähr minimaler Unterbrechungsdauer beobachtet. Die ersten Versuche, die Erscheinungen bei einer anderen Aufstellung des Unterbrechers zu untersuchen, haben gezeigt, dass die Unterbrechungsdauer einen enorm starken Einfluss auf die Reizungseffecte ausübt. Nämlich je bedeutender die Unterbrechungen sind, desto schwieriger ist es, Endzuckungen zu erlangen. Ihre Erlangung wird bei einer gewissen Grenzdauer der Unterbrechungen schon unmöglich, so dass der Nerv auf die Reizung ausschliesslich nur mit Tetani reagirt. Ausserdem äussern die unter solchen Bedingungen entstehenden Tetani nicht mehr die Eigenschaft einer plötzlichen Steigerung im Momente des Abbrechens der Reizung; der Tetanus, wie niedrig er auch sein mag, fällt sogleich bis zur Abscisse, sobald der reizende Strom geöffnet wird.

Ohne specielle Messungen kann ich keine Zahlangaben anführen,

welche diese Grenzdauer der Unterbrechungen näher charakterisiren. Ich kann nur sagen, dass sie allerdings sehr unbedeutend ist und zugleich verschieden, je nach der Stärke des reizenden Stromes: je stärker der Strom ist, desto kürzer die angedeutete Unterbrechungsdauer.

Zur Bestätigung des Gesagten kann ich mich auf die Thatsache berufen, dass bei der Reizung des Nerven durch einen starken aufsteigenden Strom von 4D die Endzuckungen (selbstverständlich nach einer vorläufigen Polarisation) nur bei einer Aufstellung des Unterbrechers auf die streng minimale Unterbrechungsdauer erzielt werden können. Sobald aber diese Bedingung nicht befolgt ist, können wir den Nerven viele Minuten lang polarisiren und werden dennoch bei der Reizung nur Tetani erhalten. Bei der Benutzung schwächerer Ströme für die Experimente kann man sich um eine so genaue Aufstellung des Unterbrechers nicht bekümmern; aber auch hier ist eine relativ so unbedeutende Vergrösserung der Unterbrechungen, dass dieselben noch als kurze betrachtet werden müssen (s. das Capitel über die Methode S. 38) vollkommen hinreichend, um die Erlangung von Endzuckungen unmöglich zu machen.

Auf Grund alles Gesagten müssen wir zu folgendem Satze gelangen.

Sechster Satz. Die Erlangung von Endzuckungen bei der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes ist im Allgemeinen nur bei einer sehr kleinen (keinesfalls die kurze übertreffenden) Unterbrechungsdauer möglich, und zwar bei einer desto kleineren, je stärker der reizende Strom ist.

Als Beispiel führe ich zwei Myogramme unter NNo. 69 und 70 an, auf denen die Resultate der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom mit minimalen (m) und andauernden (d) Unterbrechungen dargestellt sind. Zur Erlangung des ersteren benutzte ich einen schwachen (1D mit 30 cm Rheochorddraht), zur Erlangung des zweiten einen starken (4D ohne Rheochord) intermittirenden Reizstrom. Im letzteren Falle wurde der Nerv so lange der vorläufigen Polarisation ausgesetzt, bis der zur Reizung benutzte Strom einfache Endzuckungen zu erzeugen begann.

Einfluss der Unterbrechungsfrequenz auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes. Von den drei im Capitel über die Methode (s. S. 43) beschriebenen Verfahren zur Veränderung der Unterbrechungsfrequenz benutzte ich für die hier dargestellten Experimente nur die ersten beiden (durch Ziffern 1 und 2 angemerkten), da das dritte (3) sich unanwendbar erwies. Die Quecksilbernäpfchen, welche beim letzteren Verfahren zur Stromunterbrechung dienen, erlaubten nicht, wie wir wissen (S. 44), einen Strom mit streng gleichartiger Unterbrechungsdauer zu erhalten, so dass neben sehr kurzen Unterbrechungen auch bedeutend längere vor-

kamen. Es wurde deswegen unmöglich, eine solche Aufstellung der Näpfchen zu erreichen, bei welcher die Nervenreizung Endzuckungen erzeugen konnte, es entstanden vielmehr stets unter allen möglichen Bedingungen nur Tetani. Da ich bei den Experimenten, die den Inhalt dieses ersten Abschnittes des gegenwärtigen Capitels bilden, mich ausschliesslich mit der Untersuchung der Entstehungsbedingungen der Endzuckungen zu beschäftigen beabsichtigte, so konnte ich natürlich keinen intermittirenden Strom benutzen, bei welchem die Erzielung derartiger Zuckungen unmöglich war. Deswegen können die Experimente, bei denen diese Methode, die Unterbrechungsfrequenz zu modificiren, angewandt wurde, erst im zweiten Abschnitte beschrieben werden.

Während ich bei der Untersuchung das erste Verfahren anwandte, bemerkte ich, dass die Endzuckungen bei einer mittleren Unterbrechungsfrequenz bedeutend leichter erzielt wurden, als bei einer minimalen oder maximalen. Am deutlichsten kommt das zum Vorschein, wenn man zum Experimentiren starke aufsteigende Ströme benutzt und das Bestreben darauf richtet, den Nerven durch die vorläufige Polarisation in einen Zustand zu versetzen, bei welchem er auf die Reizung mit Endzuckungen reagirt.

Dann zeigt es sich stets, dass die Erlangung eines derartigen Effectes verhältnissmässig leicht gelingt, wenn der Unterbrecher auf eine mittlere Schwingungsfrequenz eingestellt wird; sonst werden entweder gar keine Endzuckungen erzielt oder nur mit äusserster Mühe (nach einer sehr lange dauernden vorläufigen Polarisation). In Anbetracht der aus dem Capitel über die Methode bekannten Thatsache, dass nämlich die Dauer der minimalen Unterbrechungen bei mittlerer Frequenz der Schwingungen des Hammers gewöhnlich eine kleinere Grösse besitzt, als die nämliche Dauer bei häufigeren und bei selteneren Schwingungen (s. S. 36); ferner in Anbetracht dessen, dass die Vergrösserung der Unterbrechungsdauer, wie wir schon wissen (s. den sechsten Satz auf S. 181), die Erlangung von Endzuckungen enorm erschwert, haben wir nicht den geringsten Grund, den beobachteten Unterschied dem Einflusse der Reizfrequenz selbst zuzuschreiben und müssen anerkennen, dass er sich durch den Unterschied der Unterbrechungsdauer in beiden zu vergleichenden Fällen vollständig erklären lässt.

Bei der Modification der Reizfrequenz nach dem zweiten Verfahren (wo die Frequenz der Stromunterbrechungen sich in Folge des abwechselnden Ausfalls einzelner Stösse doppelt verminderte) entstand ein Resultat, zu dessen Erklärung es ebenso gar nicht nöthig ist, die Existenz irgend eines Einflusses der Reizfrequenz selbst anzuerkennen. Es erwies sich, dass der Nerv auf die Reizung durch einen Strom mit verminderter Unterbrechungsfrequenz durch Tetani reagirt, anstatt der Endzuckungen,

die bei einer doppelt grösseren Reizfrequenz beobachtet werden; ein vollkommen begreifbares Resultat, wenn man Rücksicht darauf nimmt, dass bei der Verminderung der Reizfrequenz nach dem gegebenen Verfahren die Unterbrechungsdauer sich enorm vergrössert.

Als Beispiel führe ich die beiden Myogramme unter NNo. 71 und 72 an. Die auf beiden neben den den Reizperioden entsprechenden Stellen angebrachten Ziffern 2 und 1 bedeuten die Nervenreizung durch einen Strom mit häufigen (2) und selteneren (1) Unterbrechungen. Zur Erzielung des Myogramms unter No. 72 wurde der Nerv so lange der vorläufigen Polarisation ausgesetzt, bis bei der Wirkung des hier zur Reizung benutzten starken (4 D) Stromes einfache Endzuckungen zum Vorschein kamen.

Die beschriebenen Experimente haben im Allgemeinen keinen sichtbaren Einfluss der Reizungsfrequenz an und für sich geoffenbart und können also nur dazu dienen, die von uns früher aufgestellte Folgerung (sechster Satz) hinsichtlich der Abhängigkeit der Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes von der Unterbrechungsdauer zu bestätigen.

Damit beendige ich nun die Darstellung der Experimente, welche zur Aufklärung derjenigen Bedingungen angestellt wurden, bei denen die Endzuckungserscheinung beobachtet werden kann, und gehe zum zweiten Abschnitte des gegenwärtigen Capitels über.

II. Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes mit Unterbrechungen von langer Dauer.

Die Nothwendigkeit einer weiteren Untersuchung der Bedingungen, unter denen die Erregung an der Anode des intermittirenden Stromes eintritt, wurde bei den soeben beschriebenen Versuchen ermittelt, bei welchen ich die Unterbrechungsfrequenz nach dem zweiten von den im Capitel über die Methode beschriebenen Verfahren veränderte. Es erwies sich, dass das uns bekannte Resultat (die Verwandlung der bei einer grossen Reizfrequenz zu beobachtenden Endzuckungen in die Tetani bei einer kleinen) mit vollständiger Regelmässigkeit nur in denjenigen Fällen beobachtet wird, wo die Stärke des reizenden Stromes die zur Entstehung der ersten Erregungsspuren erforderliche Intensität mehr oder minder bedeutend übertrifft. Wenn wir aber zum Experimentiren solche Ströme benutzen, deren Intensität kaum hinreicht zur Erzeugung von Oeffnungszuckungen mittlerer Grösse, so entsteht ebenso regelmässig folgendes Resultat: bei der Reizung des Nerven durch einen Strom mit doppelter Anzahl der Stösse wird eine Endzuckung beobachtet, während die Reizung durch einen Strom mit doppelt kleinerer Anzahl der Stösse ohne

jeden Effect bleibt. Als Beispiel führe ich das Myogramm unter No. 73 an, auf welchem alle Bezeichnungen ganz denselben Sinn haben, wie auch auf den eben beschriebenen Myogrammen unter NNo. 71 und 72. Ein derartiges Resultat scheint auf den ersten Blick dem Resultate der im Schlusse des vorigen Abschnittes beschriebenen Experimente zu widersprechen. In der That haben wir dort gesehen, dass die Vergrösserung der Unterbrechungsdauer, welche beim Uebergange von einer häufigen Reizung zu einer seltenen entsteht, einen Uebergang der einfachen Endzuckungen in anhaltende Tetani bedingt, d. h. so zu sagen günstig für die Entstehung einer stärkeren Erregung an der Anode des reizenden Stromes erscheint; hier aber bemerken wir gerade das Umgekehrte: die Bedingungen für die Nervenerregung zeigen sich bei einer seltenen Reizung minder günstig, als bei einer häufigen.

Dieser scheinbare Wiederspruch kann auf Grund der sämmtlichen im ersten Abschnitte des gegenwärtigen Capitels beschriebenen Resultate leicht erledigt werden.

Alle vorhergehenden Untersuchungen wurden ausschliesslich der Erscheinung der Endzuckung gewidmet. Die letztere, unabhängig von irgend welchen theoretischen Erörterungen, lässt uns unvermeidlich anerkennen, dass bei der Wirkung der Anode des intermittirenden Stromes auf den Nerven hemmende Einflüsse existiren, die jeden Stoss verhindern, seine Erregungsfähigkeit während der ganzen Reizperiode zu offenbaren. Folglich kann man alle vorigen Untersuchungen als solche betrachten, die auf die Aufklärung der Bedingungen, unter denen die angezeigte hemmende Wirkung zum Vorschein kommt, gerichtet wurden. Indessen ist es klar, dass mit der Bestimmung dieser Bedingungen die Frage über die Erregungswirkung der Anode noch nicht erschöpft ist. Um diese Frage vollkommen zu lösen, muss man noch den Einfluss kennen lernen, den die verschiedenen Reizungsbedingungen auf die Grösse der Erregung an der Anode ausüben.

In der That haben wir keine Gründe anzunehmen, dass die Grösse der Erregungswirkung der Anode mit ihrer hemmenden Wirkung immer Hand in Hand gehe, so dass der stärkeren Hemmung immer eine schwächere Erregung entspräche. Somit kann man sich sehr leicht den Fall vorstellen, wo ein gewisser Einfluss, indem er eine Verstärkung der Erregungswirkung der Anode befördert, zugleich die Aeusserung dieser verstärkten Erregung hemmt. Dem Anschein nach herrscht bei den eben beschriebenen Experimenten gerade dieser Fall: indem die Vergrösserung der Reizfrequenz die Erregung an der Anode des intermittirenden Stromes verstärkt (die im gegenwärtigen Abschnitte beschriebenen Experimente), dient sie zugleich als Hinderniss für ihre Offenbarung (die Experimente am Schlusse des vorhergehenden Abschnittes).

Die beschriebene Thatsache hat uns also einen Hinweis darauf gegeben, dass die Grösse der Erregung an der Anode vom Charakter des intermittirenden Stromes abhängt. Um diese Abhängigkeit näher zu prüfen, ist es zweckmässig, die im vorigen Abschnitte untersuchte hemmende Wirkung der Anodenreizung zu vermeiden. Zu dem Zwecke benutzte ich bei den weiter zu beschreibenden Experimenten nur solche intermittirenden Ströme, deren Unterbrechungsdauer eine Grösse besass, die die minimale bedeutend übertraf (Unterbrechungen von langer Dauer, s. das Capitel über die Methode[1]) auf S. 42): bei der Anwendung derartiger Ströme wird, wie uns bekannt ist (der sechste Satz auf S. 181), die Erlangung von Endzuckungen unmöglich, folglich giebt es keine Beweggründe, die Existenz hemmender Einflüsse zu vermuthen. Ueberhaupt habe ich vier Reihen von Experimenten angestellt, zu deren Beschreibung ich jetzt übergehe:

I. Die erste Reihe von Experimenten bestand in der Wiederholung der soeben beschriebenen; ich verglich nämlich, wie zuvor, untereinander die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom mit seltenen und mit häufigen Unterbrechungen, wobei die Reizfrequenz nach unserer zweiten Methode, d. h. ausschliesslich auf Kosten der Unterbrechungsdauer verändert wurde. Der Unterschied dieser Experimente von den vorigen bestand also nur darin, dass jetzt auch bei grösserer Reizfrequenz die Dauer der Stromunterbrechungen eine bedeutende Grösse besass.

Bei diesen Eperimenten hat sich erwiesen, dass man stets eine (überhaupt unbedeutende) Intensität des intermittirenden Stromes ermitteln kann, bei welcher die Reizung des Nerven durch eine doppelte Anzahl der Stösse Tetani von maximaler Höhe erzeugt, während die Reizung durch eine doppelt kleinere Anzahl entweder ganz ohne Effect bleibt, oder bedeutend schwächere Tetani giebt. Als Beispiel führe ich zwei Myogramme unter NNo. 74 und 75 an[2]).

---

[1]) Im Grunde entsprechen die Unterbrechungen von langer Dauer, von denen hier die Rede ist, nicht völlig denjenigen, die im Capitel über die Methode besprochen wurden. Dort verstand ich unter der bezeichneten Benennung eine maximale Dauer, bis zu welcher ich die Unterbrechungen (ohne die Regelmässigkeit der Hammerschwingungen zu stören) bringen konnte, indem ich die Aufstellung des zuerst auf die minimale Grösse der Unterbrechungen aufgestellten Unterbrechers veränderte. In Folge der Nothwendigkeit, jedesmal mit dem auf die minimale Unterbrechungsdauer aufgestellten Unterbrecher zu thun zu haben, konnte ich die Unterbrechungen damals freilich nicht zu einer solchen Grösse wie jetzt bringen: jetzt haben die Unterbrechungen eine weit bedeutendere Grösse, so dass sie öfters grösser als die Stösse selbst sind.

[2]) Hinsichtlich der Methode, die angeführten Myogramme zu bekommen, muss ich folgende Bemerkung machen. Wir wissen aus dem Capitel über die Methode,

Beide Myogramme wurden durch aufeinander folgende Reizung eines und desselben Nerven erlangt. Nach der Beendigung des Experimentes wurden alle zur Bestimmung der Dauer der Stösse und der Unterbrechungen des Reizstromes erforderlichen (s. S. 35) Ausmessungen angestellt. Dabei wurden folgende Angaben gewonnen: Ablenkung des Galvanometers unter der Wirkung des constanten Stromes 48°, Ablenkung durch den intermittirenden Strom mit häufigen Unterbrechungen 13°30; Unterbrechungsfrequenz 94. Daraus lassen sich leicht alle Grössen berechnen.

Strom mit häufigen Uterbrechungen (2).

Unterbrechungsfrequenz . 94.
Dauer jedes Stosses . . . 0,0033.
Dauer jeder Unterbrechung 0,0073.

Strom mit seltenen Unterbrechungen (1).

Unterbrechungsfrequenz . 47.
Dauer jedes Stosses . . . 0,0033.
Dauer jeder Unterbrechung 0,0179.

Nehmen wir Rücksicht darauf, dass bei den beschriebenen Experimenten die Dauer der Stromstösse in beiden zu vergleichenden Fällen ganz gleich blieb, und nur die Unterbrechungsdauer sich veränderte, so können wir auf Grund dessen die Folgerung machen, dass bei einer Gleichheit der Stossdauer die Erregung an der Anode des intermittirenden Stromes desto stärker ist, je kürzer die Unterbrechungen.

2. Bei der zweiten Reihe von Experimenten, ganz ebenso, wie auch bei der oben beschriebenen, verglich ich unter einander die Effecte der

---

dass der Uebergang von der Reizung des Nerven durch einen Strom mit doppelter Anzahl der Stösse zur Reizung durch einen Strom mit einer doppelt kleineren Anzahl ganz einfach vermittelst der Oeffnung des einen Schlüssels h oder f bewirkt wurde (s. Fig. 5 auf S. 21). Bei der Oeffnung des Schlüssels h können den Nerven nur die von der Seite des Stiftes b′, bei der Oeffnung des Schlüssels f nur die von der Seite des Stiftes b geschlossenen Stromstösse reizen. Es versteht sich, dass es im Falle einer Aufstellung des Unterbrechers, bei welcher die Dauer der Contacte des Hammers mit beiden Stiften vollkommen gleich ist, ganz gleichgültig erscheint, ob der Strom mit einer doppelt kleineren Anzahl der Stösse durch die Oeffnung dieses oder jenes Schlüssels erlangt ist. — Obgleich ich bei der Aufstellung des Unterbrechers mich stets bemühte, den bezeichneten Contacten eine genau gleiche Dauer zu geben, so stellte ich dennoch grösserer Zuversicht halber die im Texte beschriebenen Experimente so an, dass von zwei Proben der Reizung des Nerven durch einen Strom mit seltenen Unterbrechungen die eine bei der Oeffnung des einen, die andere bei der Oeffnung des anderen Schlüssels gemacht wurde. Die Erlangung gleicher Resultate bei beiden Proben diente zur Garantie dafür, dass alle Stösse des intermittirenden Stromes in der That eine gleiche Dauer hatten oder dass der Unterschied ihrer Dauer so nichtig war, dass er keinen Einfluss auf das Resultat der Experimente ausüben konnte.

Reizung des Nerven durch einen intermittirenden Strom von verschiedener Frequenz, aber die Modification der letzteren habe ich schon mit Beihülfe des dritten von den im Capitel über die Methode beschriebenen Verfahren (s. S. 44) angestellt. Bei diesem Verfahren erfolgt, wie wir wissen, die Verminderung der Reizfrequenz ausschliesslich auf Kosten der entsprechenden Verlängerung der Dauer der Stösse, die Unterbrechungsdauer behält aber ihre Grösse unverändert.

Als Beispiel führe ich das Myogramm unter No. 76 an.

Die durch die Buchstaben V und V′ bezeichneten Reizungsproben entsprechen der Reizung durch einen Strom mit seltenen, die durch VV′ bezeichneten der Reizung durch denjenigen mit häufigen Unterbrechungen (vergl. S. 113). Bei diesem Experimente wurden ebenso Ausmessungen der Dauer der Stösse und der Stromunterbrechungen ausgeführt. Die ermittelten Angaben sind: Ablenkung durch den constanten Strom 50°30′, Ablenkung durch den intermittirenden Strom VV′ 10°30′, Unterbrechungsfrequenz 100. Daraus sind, nach den entsprechenden Berechnungen. alle erforderlichen Zahlen ermittelt worden.

Strom mit seltenen Unterbrechungen (V und V′).

Unterbrechungsfrequenz .	50.
Dauer jedes Stosses . . .	0,0124.
Dauer jeder Unterbrechung	0,0076.

Strom mit häufigen Unterbrechungen (VV′).

Unterbrechungsfrequenz .	100.
Dauer jedes Stosses . . .	0,0024.
Dauer jeder Unterbrechung	0,0076.

Das angeführte Mygramm zeigt, wie stark die Dauer der Stösse die Grösse der Nervenerregung an der Anode des intermittirenden Stromes bestimmt: bei unbedeutender Dauer der Stösse erzeugt ein starker Strom (4D ohne Rheochord) gar keinen oder fast gar keinen Effect. Uebrigens gelingt es oft nicht, ein vollständiges Fehlen des Fffectes bei einer Reizung durch den Strom 4D zu bewirken. Indem man aber beim Experimentiren schwächere Ströme gebraucht, kann man die Erscheinung in einer so scharfen Form stets beobachten.

Auf Grund der zweiten beschriebenen .Experimentreihe können wir also den Schluss ziehen, dass bei einer Gleichheit der Unterbrechungsdauer die Erregung an der Anode des intermittirenden Strmes desto stärker ist, je länger die Stösse dauern.

3. Die dritte Experimentreihe hatte das Ziel, die bei den beiden ersten ermittelten Resultate auf eine andere Weise zu prüfen. Bei den oben beschriebenen Versuchen wurde die Veränderung der Stoss- und Unterbrechungsdauer stets von einer Veränderung der Reizfrequenz begleitet. Obschon der Charakter der erlangten Resultate selbst darauf hindeutete, dass sie ausschliesslich von der Dauer der Stösse und der

Unterbrechungen des intermittirenden Stromes, nicht aber von der Reizfrequenz abhängen, so war es dennoch wünschenswerth, dieselben Erscheinungen auch unter solchen Bedingungen zu beobachten, bei welchen die Reizfrequenz unveränderlich bliebe. Zu diesem Zwecke habe ich folgendes Verfahren benutzt.

Wir wissen aus dem Capitel über die Methode, dass der intermittirende Strom, welcher durch unseren Unterbrecher hervorgebracht wird, sich aus einzelnen Stössen gestaltet, die in Folge einer abwechselnden Berührung des Hammers mit den auf seinen beiden Seiten gelegenen Stiften entstehen. Ebendaselbst wurde das Verfahren beschrieben, das mir gestattete, die Berührungszeiten beider Stifte gleich zu machen (s. S. 29). Stellen wir uns nun vor, dass der Unterbrecher absichtlich so aufgestellt wird, dass diese Berührungszeiten möglichst verschieden seien. Wir können das sehr leicht erreichen, indem wir die Spannung der Federn g und g′, sowie auch die Lage der Electromagnete E und E′ (s. Taf. I) auf entsprechende Weise verändern: von der Seite, wo wir eine längere Dauer der Contacte erreichen wollen, müssen wir den Electromagnet dem Hammer möglichst näher stellen und die Spannung der Feder schwächen; von der entgegengesetzten Seite müssen wir umgekehrt den Electromagnet entfernen und die Spannung der Feder verstärken. Beides müssen wir so lange thun, bis der Hammer noch die Fähigkeit behält, regelmässig zu schwingen (die Regelmässigkeit der Schwingungen des Hammers wurde durch ein Telephon controlirt).

Nachdem eine solche Aufstellung erreicht ist, sind wir im Stande, die bei der Reizung des Nerven durch intermittirende Ströme von gleicher Frequenz, aber mit äusserst verschiedener Dauer der Stösse und der Unterbrechungen erfolgenden Effecte untereinander zu vergleichen. Es genügt zu diesem Zwecke, nur die Ströme zu benutzen, welche bei der abwechselnden Oeffnung der Schlüssel h und f entstehen, d. h. diejenigen, welche sich aus einer Reihe solcher Stösse gestalten, die einmal von der Seite des einen und das andere Mal von der Seite des anderen Stiftes geschlossen werden.

Derartige Experimente haben bewiesen, dass es immer möglich ist, eine solche Intensität des intermittirenden Stromes zu ermitteln, bei welcher die Reizung des Nerven durch eine Reihe lange dauernder, von einander durch relativ kurze Unterbrechungen getrennter Stösse Tetani erzeugt, während die Reizung durch eine Reihe kürzerer, von einander durch länger dauernde Unterbrechungen getrennter Stösse ohne jeden Effect bleibt. Mit anderen Worten: diese dritte Reihe von Versuchen bestätigt vollkommen die aus den beiden ersten gezogenen Folgerungen.

Als Beispiel führe ich das Myogramm unter No. 77 an, auf dem durch Buchstaben b und b′ die Proben der Nervenreizung durch eine Reihe von kürzeren (b) und

längeren (b') Stössen bezeichnet ist. Auch für dieses Experiment bin ich im Stande, wie auch für die eben beschriebenen, Zahlenangaben hinsichtlich der Dauer der Stösse und der Unterbrechungen des zur Reizung benutzten Stromes anzuführen. Aus den Messungen erwies sich: Ablenkung durch den constanten Strom 63°; Ablenkung durch den intermittirenden Strom mit kurzen Stössen (b) 8°, Ablenkung durch den intermittirenden Strom mit längeren Stössen (b') 35°30', Unterbrechungsfrequenz 42. Nach den Berechnungen bekommen wir folgende Zahlen:

Intermittirender Strom mit kürzeren Stössen (b).

Dauer jedes Stosses . . .	0,0037.
Dauer jeder Unterbrechung	0,0201.
Unterbrechungsfrequenz .	42.

Intermittirender Strom mit länger dauernden Stössen (b').

Dauer jedes Stosses . . .	0,0155.
Dauer jeder Unterbrechung	0,0083.
Unterbrechungsfrequenz .	42.

Stellen wir diese drei Reihen von Experimenten zusammen, so können wir das dabei ermittelte Resultat durch folgenden Satz ausdrücken:

Siebenter Satz. Die Erregung an der Anode des intermittirenden Stromes ist desto stärker, je andauernder die Stösse und je kürzer die Unterbrechungen sind.

4. Die vierte Experimentreihe ist aus einer zufälligen Beobachtung entstanden, welche ich beim Aufschreiben der während der Reizung des Nerven durch einen starken aufsteigenden Strom zu beobachtenden Tetani gemacht habe. Es gelang mir nämlich, bei einigen Experimenten zu bemerken, dass die Tetani nicht gerade im Momente der Schliessung des reizenden Stromkreises begannen, sondern erst einige Zeit nachher, und dass diese Zeit, ohne auf den Myogrammen in Folge der unbedeutenden Schnelligkeit der Cylinderdrehung zum Vorschein zu kommen, dennoch ganz deutlich in die Augen fiel. Um diese Erscheinung näher zu untersuchen, stellte ich eine neue Reihe von Versuchen an und schrieb diese Tetani bei einer grösseren Schnelligkeit der Cylinderdrehung auf. Zur Reizung wurde ausschliesslich ein starker aufsteigender Strom 4D gebraucht, wobei der Nerv keiner vorläufigen isolirenden Polarisation ausgesetzt wurde. Folglich wurde jedes Experiment an einem völlig normalen Nerven angestellt. Bei den meisten Experimenten gebrauchte ich einen intermittirenden Strom, welcher vermittelst der Contacte des schwingenden Hammers nur mit einem von den Stiften (der eine von den Schlüsseln h oder f blieb beständig geöffnet, s. Fig. 5 auf S. 21) entstand, und nur selten verwandte ich einen Strom, der durch den Unterbrecher bei seiner gewöhnlichen Aufstellung erzeugt wurde. Zur Erläuterung des erlangten Resultates führe ich die beiden Myogramme

unter NNo. 78 und 79 an, von denen das erstere zu den schärfsten gehört, das andere aber die Erscheinung in der Form demonstrirt, in welcher sie meistentheils beobachtet wird. Die obere Linie auf dem ersten und die untere auf dem zweiten wurden mit Hülfe des Zeitmarkirers von Deprès aufgeschrieben, welcher mit einer Batterie und mit der electromagnetischen Stimmgabel von Helmholtz in Verbindung stand. Jede Zacke dieser Linie entspricht 0,01 Secunden. Von den beiden anderen Linien wurde die obere durch den Muskel und die untere durch einen zweiten Zeitmarkirer von Deprès aufgeschrieben, der die Schliessungs- und Oeffnungsmomente des Kreises des reizenden Stromes notirte. Der Augenblick der Schliessung wurde ausserdem durch den über dem entsprechenden Punkte des Myogramms angebrachten Buchstaben S angezeigt. Auf dem Myogramm unter No. 78 ist ausser der Reizung des Nerven durch einen starken aufsteigenden Strom noch das Resultat der Reizung durch den nämlichen Strom, nur in absteigender Richtung, aufgeschrieben. Die Reizfrequenz glich beim ersten Experimente 37 und beim zweiten 45 Stössen per Secunde.

Wir sehen aus beiden Experimenten, dass der Anfangsmoment des Tetanus vom Anfangsmomente der Reizung durch einen sehr bedeutenden Zeitraum getrennt ist, welcher denjenigen, der bei der Reizung mit einem absteigenden Strome (die zweite Reizungsprobe auf dem Myogramm unter No. 78) zwischen den entsprechenden Momenten verfliesst, weit übertrifft. Ausserdem wächst der Tetanus äusserst langsam und erreicht seine maximale Höhe [1]) sehr spät.

---

[1]) Hinsichtlich der beschriebenen Experimente muss ich noch einige Bemerkungen machen.

Zur Ermittelung der Erscheinung in der oben dargestellten Form ist die Befolgung gewisser Bedingungen erforderlich; sonst setzen wir uns der Gefahr aus, die Erscheinung nur in einer bedeutend minder scharfen Form zu beobachten, oder es kann sogar geschehen, dass wir sie überhaupt nicht zu Gesicht bekommen (die Untersuchung der Ursachen derartiger Abweichungen ist noch nicht vollendet). Obgleich diese Bedingungen ungefähr identisch mit denjenigen sind, welche überhaupt bei meinen Experimenten befolgt wurden, so halte ich es dennoch für nothwendig, auf sie noch einmal hinzuweisen, da ihre Befolgung im gegebenen Falle besonders erforderlich erscheint. Erstens müssen wir durchaus den mittleren Nerventheil zu den Versuchen benutzen und die Electrode keinesfalls in der Nähe des Querschnittes unterbringen. Zweitens muss der Nerv frisch präparirt sein und darf vor dem Beginne der Experimente keiner Stromwirkung, besonders nicht der eines starken Stromes, ausgesetzt werden. Drittens muss man, wenn man eine Reihe von Proben mit der Reizung des nämlichen Nerven anstellt, den Nerven zwischen den einzelnen Proben eine oder zwei Minuten lang ausruhen lassen. Sind diese Bedingungen erfüllt, so erfolgt die Erscheinung mit absoluter Regelmässigkeit und dabei meistentheils in einer bedeutend entschiedeneren Form, als dies auf dem Myogramm unter No. 79 dargestellt ist.

Auf Grund der angeführten Experimente kann es keinem Zweifel unterliegen, dass aus einer Reihe von Stössen eines starken aufsteigenden Stromes viele von den ersten ganz ohne Effect bleiben, und dass die Reihe der folgenden eine Erregung bewirkt, die sich langsam verstärkt und erst sehr spät ihre maximale Grösse erreicht. Mit anderen Worten: die beschriebenen Experimente lassen uns zu folgendem Satze gelangen:

Achter Satz. Die Erregung, welche an der Anode je eines Stosses des intermittirenden Stromes entsteht, ist desto stärker, je weiter der gegebene Stoss in der Reihe sich befindet.

Damit beschliesse ich die Darstellung der thatsächlichen Angaben, welche beim Experimentiren über die Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes ermittelt wurden, und gehe zum Versuche, sie zu erklären, über.

Capitel VIII.

Erörterung der Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes.

Die Thatsachen, welche wir im vorigen Capitel[1]) kennen gelernt haben, weisen darauf hin, dass zwischen der Wirkung der Anode des intermittirenden und des constanten Stromes auf den Nerven manche Analogien vorhanden sind. Wollen wir daher den Versuch unternehmen, die Effecte der Reizung des Nerven durch den intermittirenden Strom zu erklären, so müssen wir unvermeidlich diese Erklärung an unsere Vorstellungen über das Wesen der Oeffnungserregung anknüpfen.

Seit den Untersuchungen von Pflüger wird es fast allgemein anerkannt, dass die Oeffnungserregung vom Verschwinden oder Erschlaffen des Anelectrotonus abhängt. Dieser Ansicht hält das Gegengewicht eine andere Erklärung, die vor einigen Jahren eifrig von Grützner[2]) und Tigerstedt[3]) verfochten wurde. Beide Autoren kamen unabhängig von einander zu dem Schlusse, dass das Verschwinden des Anelectrotonus an und für sich gar keine erregende Wirkung besitzt, und dass die im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes entstehende Erregung ausschliesslich von der Wirkung des Polarisationsstromes auf den Nerven bedingt wird. Dieser Polarisationsstrom muss, indem er eine dem ihn erzeugenden Reizungsstrome entgegengesetzte Richtung hat, im Momente der Oeffnung des letzteren den electrotonischen Zustand des Nerven um-

---

[1]) Ich muss hier bemerken, dass die von mir im vorigen Capitel beschriebenen Thatsachen nicht vollkommen neu sind: die Endzuckung wurde schon von den im Capitel V citirten Autoren beobachtet, welche sich mit der Frage über die Wirkung des intermittirenden Stromes auf den Nerven beschäftigten. Diese Erscheinung war jedoch bis jetzt nicht näher untersucht worden.

[2]) Grützner, Pflüger's Arch. Bd. XXXII. 1883.

[3]) Tigerstedt, Mittheil. v. physiol. Labor. d. carolin. medico-chirurg. Instit. in Stockholm. 2. Heft. 1882. Zur Theorie der Oeffnungszuckung.

kehren. Es muss nämlich da, wo der Nerv sich im Katelectrotonuszustande befand, ein Anelectrotonuszustand erscheinen, und umgekehrt, an der Stelle des früheren Anelectrotonus muss der Nerv in den Katelectrotonuszustand gerathen. Dieser letztere wirkt nämlich, nach der Ansicht der bezeichneten Autoren, auf den Nerven erregend. Mit anderen Worten: die Oeffnungserregung wird ihrem Charakter nach mit der Schliessungserregung identificirt.

Sämmtliche im vorigen Capitel beschriebenen Experimente scheinen mir auf die entschiedenste Weise für Grützner's und Tigerstedt's Ansichten zu sprechen. Wir werden uns wenigstens überzeugen, dass von ihrem Standpunkte aus die von uns ermittelten Resultate sich äusserst leicht und einfach erklären lassen, während sie vom Standpunkte der Erregungswirkung des verschwindenden Anelectrotonus theils gar nicht, theils nur mit Beihülfe ganz willkürlicher Annahmen erklärt werden können. Deswegen betrachte ich meine Untersuchung der Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes als eine gewichtige Bestätigung der Theorie der Nervenreizung durch den Polarisationsstrom, welche nach ihrem Entstehen viele Angriffe erlitten hat (von Hermann, Fuhr) und heutzutage fast für gänzlich umgestossen gilt.

Indem ich eine allgemeine Uebersicht der gegen die in Rede stehende Theorie gemachten Einwände bis zum folgenden Capitel aufschiebe, werde ich hier mein Bestreben nur darauf richten, zu zeigen, wie weit sie zur Erklärung der von mir untersuchten Erscheinungen dienen kann.

Die Fähigkeit des Nerven, Polarisationserscheinungen zu offenbaren, welche von du Bois-Reymond[1]) und Matteucci[2]) entdeckt (eine ähnliche Fähigkeit des Muskels ist von Peltiè[3]) noch im Jahre 1834 entdeckt worden) und nachher von Hermann[4]) näher untersucht wurde, hat besonders während der letzten Zeit die Aufmerksamkeit auf sich gezogen, nachdem dieser Frage mehr oder minder ausführliche Arbeiten (von du Bois-Reymond[5]), Tigerstedt[6]), Grützner[7]) und Her-

[1]) du Bois-Reymond, Gesammelte Abhandl. II. S. 191—193.

[2]) Matteucci, Comptes rendus. 1861, 1863, 1867 (cit. nach dem weiter angeführten Werke von Tigerstedt, S. 4).

[3]) du Bois-Reymond, Unters. etc. II. 2. Berlin 1860. S. 378.

[4]) Hermann, Untersuch. zur Physiol. d. Musk. u. Nerv. III. Berlin 1868. — Hierher müssen auch die zahlreichen Arbeiten von Hermann gezählt werden, welche sich in verschiedenen Bänden des Pflüger'schen Archivs befinden, in denen dieser Forscher seine Electrotonustheorie aufstellt.

[5]) du Bois-Reymond, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1884.

[6]) Tigerstedt, Mitth. v. physiol. Labor. d. carolin. medico-chirurg. Instit. in Stockholm. 2. Heft. 1882. Ueber innere Polar. in den Nerven.

[7]) Grützner, Pflüger's Arch. XXXII. 1883.

mann[1]) gewidmet worden. Diese Arbeiten haben uns mit einigen charakteristischen Eigenschaften des Nervenpolarisationsstromes bekannt gemacht, nach denen wir uns in unseren Erörterungen auch richten müssen.

Da der Polarisationsstrom überhaupt bedeutend schwächer ist, als der polarisirende, so kann er seine Wirkung im Nerven nur dann offenbaren, wenn der Strom, der ihn hervorgerufen hat, geöffnet ist. Wenn wir zugeben, dass das Verschwinden des Anelectrotonus, ganz ebenso, wie auch dessen Entstehen, gar keine Erregungswirkung besitzt, so können wir folglich den Zustand, in welchem sich der einer Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes ausgesetzte Nerv befindet, mit demjenigen vergleichen, in welchem er sich befinden würde, wenn er der Kathodenwirkung eines solchen Stromes ausgesetzt wäre, dessen Stösse und Unterbrechungen ihrer Dauer nach den Unterbrechungen und Stössen des wirklich vorhandenen reizenden Stromes entsprächen. — In der That muss jeder Stoss des reizenden Stromes, indem er im Nerven den nicht erregenden Anelectrotonuszustand hervorruft, für den Nerven die nämliche Bedeutung haben, wie auch die Unterbrechung im Falle der Nervenreizung durch die Kathode des intermittirenden Stromes. Und umgekehrt muss jede Unterbrechung des reizenden Stromes dem Stosse entsprechen, insoweit als hier der Polarisationsstrom den Nerven in den Katelectrotonuszustand versetzt.

Dem Gesagten müssen wir noch hinzufügen, dass der Katelectrotonuszustand, in welchem der Nerv sich während der Unterbrechungen des reizenden Stromes befindet, mit jeder folgenden Unterbrechung immer stärker und stärker werden muss. Auf Grund der übereinstimmenden Angaben sämmtlicher oben erwähnter Forscher wissen wir, erstens, dass die Stärke des Polarisationsstromes sowohl von der Intensität, als auch besonders von der Wirkungsdauer des polarisirenden Stromes bestimmt wird, und zweitens, dass der Polarisationsstrom nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes sehr geraume Zeit im Nerven verbleibt. Aus diesen Eigenschaften des Polarisationsstromes kann nämlich der soeben aufgestellte Satz unmittelbar gefolgert werden. In der That muss der Polarisationsstrom nach jedem Stosse des intermittirenden Stromes immer stärker und stärker werden, weil hier eine Summirung der durch einzelne Stösse hervorgerufenen Polarisation stattfinden muss[2]).

---

[1]) Hermann, Pflüger's Arch. XXXIII. 1883. Bd. XLII. 1888.

[2]) Vergl. in dieser Hinsicht Tigerstedt, Op. cit. Zur Theorie der Oeffnungszuckung. S. 10.

Nachdem wir auf Grund der allgemein bekannten Thatsachen das Bild des Nervenzustandes während der Reizung durch die Anode des intermittirenden Stromes aufgezeichnet haben, wollen wir nun betrachten, wie es zur Erklärung der von uns untersuchten Erscheinungen beitragen kann. Dabei werden wir die in beiden Abschnitten des vorhergehenden Capitels beschriebenen Thatsachen einzeln untersuchen.

I. Erörterung der Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes mit minimalen Unterbrechungen.

Sämmtliche, im entsprechenden Abschnitt des vorigen Capitels beschriebenen Experimente deuten, wie dies schon früher erwähnt wurde, übereinstimmend darauf hin, dass bei der Reizung des Nerven durch eine Reihe von Stössen eines intermittirenden Stromes mit minimaler oder fast minimaler Unterbrechungsdauer eine gewisse Ursache existirt, welche die Erregungswirkung der Anode verhindert, sich *während der Reizung* in voller Kraft zu offenbaren, *nach deren Beendigung* aber eine derartige Offenbarung nicht stört. In Folge der Existenz einer solchen Ursache nähert sich die Wirkung des intermittirenden Stromes ihrem Charakter nach der Wirkung des constanten, insofern als beide Ströme fähig erscheinen, Oeffnungszuckungen zu erzeugen.

Es fragt sich, worin diese Ursache besteht.

Wir haben schon früher gesehen, dass vom Standpunkte der Polarisationstheorie die Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes vollkommen gleich gilt der Reizung durch die Kathode einer Reihe von Polarisationsströmen, deren Dauer der der Unterbrechungen des reizenden Stromes genau entspricht. Da die Erscheinung der Endzuckung, wie es die Experimente zeigen, nur unter der Bedingung einer geringen Unterbrechungsdauer ermittelt werden kann, so liegt, da die als Erregungsquelle dienenden Polarisationsströme eine ebenso geringe Dauer besitzen, natürlich der Gedanke nahe, dass gerade *die Kürze* der letzteren die Abwesenheit einer Erregung während der Wirkung des reizenden Stromes auf den Nerven bedingt (im Capitel IV haben wir gesehen, dass kurze Stösse verhältnissmässig unwirksam sind). Nach der Beendigung der Reizung aber, sobald die Dauer des im Nerven durch den letzten Stoss des reizenden Stromes hinterlassenen Polarisationsstromes sich nicht mehr auf die Unterbrechungsdauer beschränkt, sondern bedeutend grösser wird, geräth der Nerv in einen erregten Zustand, welcher sich in Form einer Endzuckung äussert.

Die dargelegte, höchst einfache Vorstellung erweist sich vollkommen

hinreichend zur Erklärung durchaus aller Erscheinungen, welche im ersten Theile des vorigen Capitels beschrieben wurden. Ich kann sogar behaupten: aus dieser Vorstellung können alle bezeichneten Erscheinungen schon a priori abgeleitet werden.

Um uns davon zu überzeugen, wollen wir den Versuch machen, die beschriebene Vorstellung weiter nach denjenigen Richtungen zu entwickeln, nach welchen von uns die Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes untersucht worden sind.

Einfluss der Reizstärke. Augenscheinlich gilt die oben gegebene Erklärung der Endzuckung nur für den Fall, wo es den allmälig sich verstärkenden Polarisationsströmen nicht gelingt, während der Reizung eine solche Intensität zu erreichen, welche ungeachtet ihrer geringen Dauer dennoch zur Erlangung der Erregung schon hinreichend ist; sonst muss der reizende Strom auch während seiner Wirkung erregen. Es versteht sich, dass die Erlangung einer solchen Erregung desto wahrscheinlicher ist, je stärker die Polarisationsströme sind. Da die Stärke der letzteren durch die Intensität des reizenden Stromes bestimmt wird, so ist es klar, dass man bei stärkerer Reizung nicht mehr Endzuckungen, sondern Tetani erlangen muss. Die Tetani brauchen jedoch nicht genau im Anfangsmomente der Reizung zu beginnen, sondern erst eine gewisse Zeit nachher (eine desto kürzere, je stärker die Reizung), und einmal begonnen, werden sie sich nur mit der Zeit allmälig verstärken (desto schneller, je stärker der reizende Strom), da die die Erregung erzeugenden Polarisationsströme sich auch nur allmälig verstärken. Hört die Reizung in dem Momente auf, wenn der Tetanus die maximale Höhe noch nicht erreicht hat, so muss eine plötzliche Verstärkung des Tetanus entstehen, da der letzte Polarisationsstrom, der länger dauert, als alle vorhergehenden, auch eine stärkere Erregung hervorrufen muss.

Wir haben im vorigen Capitel gesehen (s. den ersten und zweiten Satz auf S. 172 u. 174), dass in der That gerade diese Escheinungsfolge beobachtet wird.

Einfluss der vorläufigen Polarisation. Im fünften Abschnitte des Capitels IV, wo die Rede von den Effecten der Nervenreizung durch die Kathode einer Reihe von kurzen Stössen war, wurde gezeigt, dass die vorläufige Polarisation durch einen starken Strom von beliebiger Richtung den Nerven relativ wenig empfindlich für die Reizung durch kurze Stösse selbst eines sehr starken Stromes macht. Nehmen wir an, dass die Erregung, welche bei der Wirkung der Anode des intermittirenden Stromes auf den Nerven beobachtet wird, von kurzen Polarisationsströmen abhängt, so müssen wir zugleich annehmen, dass die vorläufige Polarisation die Erlangung der Tetani enorm verhindern muss, so dass

der nämliche intermittirende Strom, welcher vor der Polarisation Tetani erzeugte, nach ihr schon einfache Endzuckungen erzeugen muss. Gerade dies wird, wie wir im vorigen Capitel gesehen haben, in der That beobachtet (s. den dritten Satz auf S. 174).

Einfluss der Anodenpolarisation. Bei der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes vor und während der Anodenpolarisation bleibt der Nerv im ersten Falle während der Stromunterbrechungen ganz frei von der Wirkung irgend eines von ausssen kommenden Stromes, im zweiten aber wird er der Wirkung des polarisirenden Stromes ausgesetzt. Da dieser Strom in unserem Falle eine Richtung besitzt, die derjenigen der Polarisationsströme entgegengesetzt ist, und somit den Nerven in einen Anelectrotonuszustand versetzt, so muss er augenscheinlich die Wirkung der Polarisationsströme mehr oder minder (je nach seiner Kraft) schwächen. Also muss der bei der Nervenreizung während der Polarisation entstehende Effect genau demjenigen Effecte entsprechen, welcher bei der Wirkung eines schwächeren intermittirenden Stromes entsteht, d. h. der Tetanus muss während der Polarisation später beginnen oder es muss anstatt des Tetanus sogar eine einfache Endzuckung erscheinen. Die Ergebnisse der Experimente bestätigen, wie wir gesehen haben (s. den vierten Satz auf S. 176), diese Folgerung völlig.

Der Einfluss der Kathodenpolarisation muss demjenigen der Anodenpolarisation entgegengesetzt erscheinen, da der polarisirende Strom, der seiner Richtung nach mit den Polarisationsströmen zusammentrifft, ihre Wirkung verstärken muss. In Folge dessen müssen die Endzuckungen, welche vor der Polarisation entstanden, sich unter ihrem Einflusse in Tetani verwandeln, was wir in der That auch beobachteten (fünfter Satz auf S. 179).

Ich will hier noch eine Reihe von Thatsachen berücksichtigen, welche meiner Meinung nach besonders deutlich für unsere Ansicht über das Wesen der Endzuckung und der Uebergangsformen der Tetani spricht. Ich meine nämlich die an der entsprechenden Stelle des vorigen Capitels beschriebenen Experimente über den Einfluss der Kathodenpolarisation von verschiedener Stärke auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode eines starken intermittirenden Stromes. Wir haben dort gesehen, dass bei der Reizung des Nerven während der Polarisation von verschiedener Intensität verschiedene Tetanusübergangsformen erlangt werden können, welche den bei der Reizung eines unpolarisirten Nerven entstehenden genau entsprechen. Diese Thatsache erscheint besonders charakteristisch, weil man hier auf künstlichem Wege genau dieselben Bedingungen entstehen lässt, welche nach unserer Vorstellung bei der

Wirkung der Anode eines intermittirenden Stromes ohne Polarisation herrschen.

In der That, bei den Experimenten, die hier besprochen werden, besassen der polarisirende und der reizende Strom eine einander entgegengesetzte Richtung, wobei die Intensität des reizenden diejenige des polarisirenden übertraf. Deswegen musste der reizende Strom während jedes Stosses den polarisirenden überwinden und folglich den Nerven in einen Anelectrotonuszusand versetzen; im Laufe jeder Unterbrechung aber war der Nerv nur der Wirkung des polarisirenden Stromes allein unterworfen, unter deren Einflusse er in einen Katelectrotonuszultand versetzt werden und sich in diesem Zustande während der ganzen Unterbrechung befinden musste. Es ist klar, dass dieser Zustand mit demjenigen völlig identisch erscheint, in welchem sich ein unpolarisirter Nerv befinden muss, wenn er der Anodenwirkung eines intermittirenden Stromes ausgesetzt wird. In diesem letzteren Falle herrscht ebenso ein Anelectrotonuszustand während jedes Stosses und ein Katelectrotonuszustand während jeder Unterbrechung, nur mit dem Unterschiede, dass der Katelectrotonuszustand hier nicht unter dem Einflusse eines von aussen auf den Nerven wirkenden Stromes, sondern unter dem Einflusse eines sich im Nerven selbst entwickelnden Polarisationsstromes entsteht. Beide Fälle erscheinen noch in der Hinsicht einander gleich,. dass im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes im Nerven schon kein kurzer, sondern ein dauernder Katelectrotonuszustand erscheint, der seinen Ursprung im ersten Falle dem polarisirenden Strome und im zweiten dem Polarisationsstrome verdankt.

Es herrschen also bei der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes während einer Kathodenpolarisation dieselben Verhältnisse unzweifelhaft, deren Existenz wir bei der nämlichen Reizung ohne Polarisation vermuthen. Die Ermittelung gleicher Effecte in beiden Fällen zeugt allerdings in bedeutendem Maasse für die Richtigkeit unserer Vermuthung; wenigstens überzeugt sie uns, dass diese Vermuthung zur Erklärung der beobachteten Erscheinungen zweifellos genügt.

Ich will noch auf eine Eigenschaft der Tetanusübergangsformen, die bei der Nervenreizung während der Polarisation beobachtet werden, aufmerksam machen. Wie schon im vorigen Capitel bemerkt wurde, unterscheiden sich diese Tetani von den unter gewöhnlichen Bedingungen entstehenden dadurch, dass sie während der Reizung nicht allmälig anwachsen, sondern mit einem Male eine bestimmte Höhe erreichen, auf der sie (allmälig sinkend) bis zum Momente der Oeffnung des reizenden Stromes auch verbleiben, um dann eine plötzliche Steigerung in Form einer Endzuckung zu erleiden. Die Abwesenheit des allmäligen An-

wachsens, welches so characteristisch ist für die Tetanusübergangsformen, die bei der Reizung des unpolarisirten Nerven beobachtet werden, lässt sich ganz einfach dadurch erklären, dass im letzteren Falle die Stärke der Polarisationsströme nur allmälig anwächst, während hier der polarisirende Strom mit voller Intensität schon während der ersten Unterbrechung des reizenden Stromes auf den Nerven wirkt.

Der Einflus der Unterbrechungsdauer auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes lässt sich vom Standpunkte der Polarisationstheorie ebenso a priori voraussehen. In der That, wenn die Erregung bei der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes nur deswegen gar nicht oder unvollständig zum Vorschein kommt, weil die Polarisationsströme sich zu kurz erweisen, so ist es klar, dass sie sich unverzüglich offenbaren muss, sobald die letzteren längere Dauer erhalten, d. h. sobald die Unterbrechungsdauer verlängert wird. Der Unterschied zwischen der Wirkung des letzten Stosses und aller vorhergehenden muss sich dabei verwischen, in Folge dessen muss auch die Erlangung der Endzuckungserscheinung unmöglich werden. Dies wird, wie wir oben (sechster Satz auf S. 181) gesehen, in der That auch beobachtet.

Einfluss der Unterbrechungsfrequenz. Die Experimente des vorigen Capitels haben gezeigt, dass die Veränderung der Unterbrechungsfrequenz innerhalb derjenigen Schranken, welche mein Unterbrecher zulässt, auf die Effecte der Nervenreizung nur in so weit wirkt, als sich mit der Modification der Reizfrequenz auch die Unterbrechungsdauer verändert. Deswegen kann Alles, was oben über die Wirkung der Unterbrechungsdauer gesagt wurde, auf den gegebenen Fall angewandt werden.

Folglich stehen sämmtliche im ersten Theile des vorigen Capitels beschriebenen Thatsachen in einer so völligen Uebereinstimmung mit der Polarisationstheorie der Oeffnungserregung, dass wir, von ihr geleitet, die Existenz der Thatsachen schon a priori vorhersehen könnten. Dasselbe gilt auch in Bezug auf die im zweiten Theile dargestellten Erscheinungen, zu deren Erklärung wir nun ebenfalls übergehen.

II. Erörterung der Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes mit andauernden Unterbrechungen.

Die Effecte, welche bei der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes mit andauernden Unterbrechungen entstehen, müssen sich von den entsprechenden Effecten bei der Wirkung des Stromes mit minimalen Unterbrechungen in derjenigen Hinsicht unterscheiden,

dass hier die Reaction, welche durch die Reizung hervorgerufen wird, die Intensität der sich während der Unterbrechungen entwickelnden Polarisationsströme unmittelbar abspiegeln muss. Letztere müssen, da sie nun eine bedeutende Dauer besitzen, ihre Erregungswirkung nicht nur im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes, sondern während der ganzen Reizperiode in voller Kraft zum Vorschein kommen lassen. Bei der Erörterung der Frage, welchen Einfluss die verschiedenen Veränderungen des Charakters des reizenden Stromes vom Standpunkte der Polarisationstheorie ausüben sollen, müssen wir folglich darauf hauptsächlich Rücksicht nehmen, wie sich solche Veränderungen in der Stärke der Polarisationsströme abspiegeln.

Im Anfange des gegenwärtigen Capitels haben wir gesehen, dass der Polarisationsstrom, welcher durch den gegebenen Stoss des reizenden Stromes hervorgerufen wird, nicht als das Resultat der Wirkung auf den Nerven des gegebenen Stosses allein betrachtet werden kann, sondern zugleich mehr oder minder auch von der Wirkung der vorhergehenden abhängen muss. Eine derartige Abhängigkeit wird durch die Eigenschaft des Polarisationsstromes relativ langsam nach der Beendigung des Stosses zu verschwinden bedingt, so dass jeder nachfolgende Stoss im Nerven den Rest des durch den vorhergehenden hervorgerufenen Polarisationsstromes findet und somit die Polarisation schon nicht von neuem zu beginnen, sondern nur weiter fortzusetzen hat. Mit anderen Worten: die Intensität des Polarisationsstromes, der im Nerven durch den gegebenen Stoss des reizenden Stromes nachgelassen wird, hängt erstens ab von der Grösse der Polarisation, welche der letztere an und für sich hervorzurufen fähig ist, und zweitens von der Intensität des Polarisationsstromes, der im Nerven schon im Anfangsmomente seiner Wirkung anwesend war.

Aus dem Gesagten folgt unmittelbar, dass die Stärke der Polarisationsströme, die durch den gegebenen intermittirenden Strom hervorgerufen werden, sowohl von der Dauer der Stösse, als auch von der Unterbrechungsdauer abhängen muss: die Dauer der Stösse bestimmt die Grösse der Polarisation, welche jeder Stoss an und für sich fähig ist, hervorzurufen, von der Unterbrechungsdauer aber hängt derjenige Rest des Polarisationsstromes ab, den die nachfolgenden Stösse benutzen können. Folglich müssen die Polarisationsströme, die durch den gegebenen intermittirenden Strom hervorgerufen werden, desto stärker sein, je länger die Dauer der Stösse und je kürzer die Unterbrechungen sind. — Es genügt, diesen Schluss mit unserem siebenten Satze (s. S. 189) zusammenzustellen, um sich zu überzeugen, dass die Ergebnisse der ersten drei Experimentreihen des zweiten Theiles des vorigen Capitels eine unmittelbare Folgerung der

Polarisationstheorie darstellen. Eine eben solche unmittelbare Folgerung der letzteren bilden auch die Ergebnisse der vierten Experimentreihe, wovon sich der Leser leicht überzeugen kann, wenn er den achten Satz (s. S. 191) vergleicht mit derjenigen Vorstellung über das allmälige (in Bezug auf die Zeit) Anwachsen der Intensität der Polarisationsströme, zu der wir im Anfange des gegenwärtigen Capitels (s. S. 194) gelangten.

Es kann also kein Zweifel bleiben, dass die Polarisationstheorie im Stande ist, genaue Rechenschaft über alle im vorigen Capitel beschriebenen Thatsachen abzulegen.

Da aber die allgemein gültige Theorie nicht im Stande ist, dasselbe zu thun, so beschliesse ich das gegenwärtige Capitel mit der Folgerung, dass sämmtliche Effecte der Nervenreizung durch die Anode des intermittirenden Stromes sich am leichtesten und natürlichsten vom Standpunkte der Polarisationstheorie von Tigerstedt und Grützner erklären lassen.

Capitel IX.

Erörterung der Haupterscheinungen im Bereiche des Anelectrotonus des constanten Stromes.

Das gegenwärtige Capitel hat für meine Gesammtuntersuchungen der Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes dieselbe Bedeutung, wie das Capitel VI in Bezug auf die Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode. Das heisst ich werde hier den Versuch machen, zu zeigen, dass die nämliche Vorstellung, welche ein so leichtes Verstehen sämmtlicher, bei der Wirkung des intermittirenden Stromes beobachteter Erregungserscheinungen zulässt, sich auch auf die entsprechenden Erscheinungen bei der Wirkung eines constanten Stromes auf den Nerven erstrecken lässt, was allerdings einen neuen Beweis für die Richtigkeit der im vorigen Capitel angeführten Erörterungen liefern wird. Nachdem ich auf diese Weise die Möglichkeit festgestellt haben werde, die Erregungswirkung der Anode von einem anderen Standpunkte, als von dem allgemein gültigen, zu betrachten, werde ich zweitens mein Bestreben darauf richten, zu beweisen, dass die im Capitel I dargelegte Summirungshypothese sich jetzt vollkommen auf die Erörterung der Pflüger'schen anelectrotonischen Erregbarkeitsabnahme anwenden lässt.

A. Erörterung der Erscheinungen der Reizung des Nerven durch die Anode des constanten Stromes.

Die Aufgabe, deren Erfüllung uns im Laufe des gegenwärtigen Capitels bevorsteht, wird durch die Existenz der vorzüglichen Arbeiten von Tigerstedt und Grützner, den Autoren der Polarisationstheorie der Oeffnungserregung enorm erleichtert.

Sie haben schon gezeigt, dass wir im Stande sind, die erregende Wirkung des Anelectrotonus zu verneinen und vermittelst des Polari-

sationsstromes allein alle Erscheinungen der Erregung des Nerven an der Anode des constanten Stromes aufs Ausführlichste zu erörtern. Ihre sämmtlichen Erklärungen können darauf zurückgeführt werden, dass der Polarisationsstrom, indem er im Momente des Verschwindens des Anelectrotonus (d. h. im Momente der Oeffnung des reizenden Stromes) zum Vorschein kommt, den Nerven nach dem nämlichen Gesetze erregt, nach welchem jeder Strom im Momente seiner Schliessung wirkt. Indem sie vom bezeichneten Gedanken ausgingen, haben sie eine vortreffliche Parallele zwischen den Bedingungen durchgeführt, welche die Intensität des Polarisationsstromes einerseits und die Grösse der Oeffnungserregung andererseits bestimmen. Aus dieser Parallele folgt unmittelbar, dass beide aufs Genaueste zusammentreffen, so dass jeder Einfluss, der fähig ist, den Polarisationsstrom zu verstärken, gleichzeitig auch die Oeffnungserregung verstärkt, und umgekehrt. Mit anderen Worten: die Anwendbarkeit der Polarisationstheorie auf die Erklärung der Erregungswirkung der Anode des constanten Stromes ist von den erwähnten Forschern mit derselben Gewissheit ermittelt worden, mit welcher im vorigen Capitel deren Anwendbarkeit auf die Erklärung der Erregungswirkung der Anode des intermittirenden Stromes bewiesen wurde.

Somit könnte ich mich auf das Gesagte beschränken, würde einerseits die Polarisationstheorie nicht von ernsthaften Angriffen verfolgt, und könnte ich selbst andererseits in allen Einzelheiten mich den Autoren der in Rede stehenden Theorie anschliessen. Daher halte ich es für nothwendig, mich noch bei zwei Punkten aufzuhalten: erstens bei der allgemeinen Kritik der bisher gegen die Polarisationstheorie gemachten Einwendungen, und zweitens bei der Grützner'schen Erklärung der bei der Reizung des Nerven in der Nähe des Querschnittes zu beobachtenden Oeffnungszuckungen, einer Erklärung, die meiner Meinung nach auf einem nicht ganz richtigen Principe begründet ist.

Ich fange mit der Kritik der Einwendungen an.

Einwendungen gegen die Polarisationstheorie wurden bisher von Hermann und Fuhr (aus Fick's Laboratorium) gemacht.

Die Haupteinwendungen von Hermann[1]) bestehen in allgemeinen Betrachtungen über die Willkürlichkeit der Polarisationstheorie. Diese Einwendung scheint mir aber keine ernsthafte Bedeutung zu verdienen. Erstens wissen wir, dass der Katelectrotonus unzweifelhaft die Fähigkeit besitzt, den Nerven in einen erregten Zustand zu versetzen. Zweitens wissen wir, dass der Polarisationsstrom im Nerven einen Katelectrotonuszustand an der Stelle hervorruft, wo sich die Anode des polarisirenden Stromes befand (dieser Umstand wird auch von Hermann nicht ver-

[1]) Hermann, Pflüger's Arch. Bd. XXXI. 1883.

neint; vergl. S. 100 seines citirten Werkes). Drittens wissen wir, dass die Stärke des Polarisationsstromes mehr als hinreichend zur Erregung des Nerven ist. Letztere unterliegt keinem Zweifel mehr seit der letzten Abhandlung von Hermann[1]), in welcher der Autor zu der Folgerung gelangt, dass „die Polarisation eines Nerven eine Kraft erreichen kann, welche derjenigen der Metalle einigermaassen nahe kommt". Stellen wir die angeführten Angaben zusammen, so wird es unmöglich, die Polarisationstheorie als eine willkürliche zu betrachten: diese Theorie schreibt den beobachteten Effect (die Oeffnungserregung) einem Agens (katelectrotonische Zweige des Polarisationsstromes) zu, das zweifellos existirt und zweifellos fähig ist, die ihm zugeschriebenen Effecte hervorzurufen.

Weiter führt Hermann, als Beweis gegen die Polarisationstheorie, noch einige Beobachtungen aus dem Gebiete der sogenannten secundären electromotorischen Erscheinungen[2]) an. Da eine ausführliche Erörterung dieser Einwendung uns zu weit führen würde, so werde ich mich nur auf die Bemerkung beschränken, dass die secundären electromotorischen Erscheinungen bisher so wenig untersucht worden sind und so verschiedene Auslegungen zulassen, dass man einstweilen einem sich darauf begründenden Einwande keine ernsthafte Bedeutung zumuthen darf.

Ausser den beiden angeführten Einwendungen deutet Hermann noch auf die Erscheinung der sogenannten unvollständigen Oeffnungszuckung hin, die seiner Meinung nach mit der Theorie von Grützner und Tigerstedt nicht in Einklang gebracht werden kann. Die Unmöglichkeit eines solchen Einklanges, auf die sich Hermann auf Grund rein aprioristischer Betrachtungen berief, ist von Fuhr[3]) auf experimentellem Wege dem Anschein nach bewiesen worden.

---

[1]) Hermann, Pflüger's Arch. Bd. XLII. 1888. S. 35.

[2]) Hermann, Pflüger's Arch. Bd. XXXIII. 1883. S. 155. — Ich unterscheide im Texte den Polarisationsstrom und die secundären electromotorischen Erscheinungen. Eine solche Unterscheidung erscheint aus dem Grunde nothwendig, weil die galvanischen Erscheinungen, welche im Nerven nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes beobachtet werden, durch die Erscheinung des Polarisationsstromes allein bei weitem nicht erschöpft werden. Gleichzeitig mit dem letzteren sind noch Ströme vorhanden, deren Ursache noch unerforscht bleibt (die von Hermann gegebene Erklärung kann schwerlich als endgültig angenommen werden); diese Ströme entspringen aller Wahrscheinlichkeit nach aus der Modification der physiologischen Eigenschaften des Nerven durch den polarisirenden Strom. Die Benennnng „secundäre electromotorische Erscheinungen" wurde von du Bois-Reymond auf die Gesammtheit aller Ströme, die im Nerven nach der Polarisation beobachtet werden, angewandt, so dass der Polarisationsstrom nur einen Theil der secundären electromotorischen Erscheinungen bildet.

[3]) Fuhr, Pflüger's Arch. Bd. XXXIV. 1884.

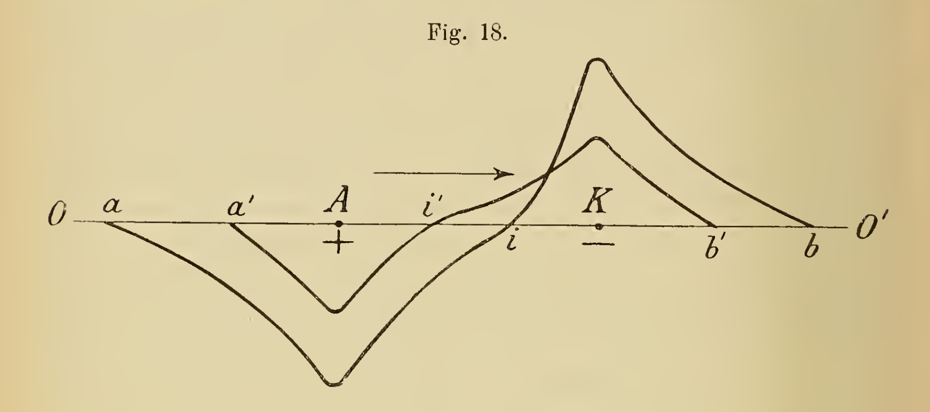
Als dieser Forscher die Effecte der Reizung des Nerven durch lineare Stromschwankungen untersuchte, stellte er unter anderem Versuche an, welche seiner Ansicht nach im Stande waren, die Frage zu lösen, ob die Oeffnungserregung vom Verschwinden des Anelectrotonus des reizenden Stromes oder vom Entstehen des Katelectrotonus des Polarisationsstromes abhängt. Diesen Experimenten lagen folgende Betrachtungen zu Grunde. Wenn die Oeffnungserregung, welche bei der allmäligen Entkräftung des reizenden Stromes beobachtet wird, von der Polarisation abhängt, so kann sie nicht früher zum Vorschein kommen, als in dem Momente, wo der reizende Strom so weit entkräftet erscheint, dass der Polarisationsstrom schon im Stande ist, das Uebergewicht über ihn zu erlangen; gehört aber die Erregungswirkung dem Verschwinden des Anelectrotonus an, so kann die Erregung auch früher entstehen. Zur Lösung der aufgestellten Frage hat Fuhr eine besondere Einrichtung benutzt, die es möglich machte, das Galvanometer auf eine kurze Zeit mit dem Kreise des reizenden Stromes gerade in dem Momente in Verbindung zu bringen, wo bei der allmäligen Entkräftung des auf den Nerven wirkenden Stromes eine Muskelzuckung hervortrat. Würde dabei eine Ablenkung der Galvanometernadel im Sinne des Polarisationsstromes beobachtet werden, so dürfte, nach der Meinung des Autors, die Polarisationstheorie zugelassen werden; widrigenfalls aber verliere sie jeden Anhaltspunkt. Die Experimente haben gezeigt, dass die Nadel stets im Sinne des reizenden Stromes ablenkt, was darauf deutet, dass die Erregung schon in dem Momente vorhanden ist, wo der vom reizenden Strome überwältigte Polarisationsstrom noch nicht im Stande ist, seine Wirkung zum Vorschein kommen zu lassen.

Die Einwendung von Fuhr scheint, da sie sich auf exacten experimentellen Ergebnissen begründet, auf den ersten Anblick äusserst ernsthaft zu sein. Für eine solche wird sie, dem Anschein nach, von den Autoren der Polarisationstheorie gehalten, so viel man wenigstens darüber aus ihrem Schweigen schliessen kann. Dessenungeachtet scheint mir diese Einwendung im Ganzen auf einem Missverständniss zu beruhen. In der That ist es leicht zu zeigen, dass die unvollständige Oeffnungserregung sich vom Standpunkte der Polarisationstheorie ebenso hinreichend erklären lässt, wie auch die vollständige, und dass es dabei gar nicht nöthig ist, zu irgend welchen neuen Voraussetzungen zu greifen.

Es wird von allen anerkannt, dass die Intensität des reizenden Stromes nicht nur die Kraft des durch den Strom erzeugten electrotonischen Zustandes, sondern auch die Ausbreitung längs des Nerven bestimmt. Folglich, wenn wir diejenigen Erscheinungen, welche sich im Anelectrotonusgebiete des reizenden Stromes im Momente seiner Entkräftung ereignen müssen, berücksichtigen, so müssen wir anerkennen,

dass nicht nur die Kraft des Anelectrotous sich in jedem gegebenen Nervenpunkte vermindert, sondern zugleich auch das Anelectrotonusgebiet selbst verengt erscheint. Dies ist auf der beigefügten schematischen Figur 18 abgebildet, wobei Linie OO′ den Nerven darstellt, durch dessen Strecke AK ein polarisirender Strom in der durch den Zeiger angedeuteten Richtung fliesst. Die zwei Curven a i b und a′ i′ b′ stellen die Vertheilung des electrotonischen Zustandes (der Intensität der electrotonischen Stromzweige) dar, welcher im Nerven durch einen starken

Fig. 18.



(a i b) und einen schwachen (a′ i′ b′) Strom hervorgerufen wird. Das Gebiet der durch den starken Strom erzeugten Anelectrotonusausbreitung erreicht in der extrapolaren Nervenstrecke den Punkt a, während das Anelectrotonusgebiet des schwachen Stromes nur den Punkt a′ erreicht. Es versteht sich, dass im Momente der Schwächung des reizenden Stromes eine Umänderung der Vertheilung des durch ihn hervorgerufenen Anelectrotonus sich ereignen muss, und zwar im Sinne des Ueberganges einer Curve unserer Figur in die andere. Dabei muss augenscheinlich im extrapolaren Raume eine Strecke (aa′) existiren, wo der Anelectrotonuszustand völlig verschwindet, während im ganzen übrigen Raume er nur mehr oder minder geschwächt wird.

Der Nervenpolarisationsstrom hat seinen Ursprung nicht nur an der Stelle der Electroden des polarisirenden Stromes, sondern an allen Nervenpunkten, wo die Polarisation stattfindet, d. h. überall, wohin sich die electrotonischen Stromzweige verbreiteten. Somit wird bei der Wirkung des stärkeren Stromes auf den Nerven auf unserer Figur die Polarisation längs der ganzen Strecke a b entwickelt, wobei sie in ihrem Antheil a i das positive, in dem anderen i b das negative Zeichen hat. In jedem von den bezeichneten Antheilen erweist sich die Polarisation mit dem entsprechenden Zeichen am stärksten an den Punkten der An-

wendung der Electroden des polarisirenden Stromes (an den Punkten A und K) und wird mit der Entfernung von ihnen immer schwächer. Mit einem Worte, in jedem gegebenen Nervenpunkte muss zwischen der Kraft der electrotonischen Ströme und der Kraft der daraus entstehenden Polarisation ein Parallelismus existiren, wobei überall die Kraft der ersteren diejenige der zweiten überwiegen muss.

Die soeben angeführten Betrachtungen stellen eine unmittelbare Folgerung aus den Vorstellungen über die Nervenpolarisation dar, die wir Hermann's unermüdlichen Forschungen auf diesem Gebiete verdanken, und enthalten also gar nichts Willkürliches. Auf Grund ihrer wird es klar, dass die Nervenstrecke aa′ sich im Momente der Schwächung der Kraft des reizenden Stromes unter ganz gleichen Bedingungen befindet, wie auch das gesammte Anelectrotonusgebiet im Momente der vollständigen Stromöffnung. Mit anderen Worten: es sind in der Strecke aa′ alle Bedingungen zur Offenbarung des hier entwickelten Polarisationsstromes vorhanden, und ist der letztere fähig, bei einer vollständigen Oeffnung des reizenden Stromes das ganze frühere Anelectrotonusgebiet in den Katelectrotonuszustand zu versetzen, so muss in der Strecke aa′ auch in unserem Falle ein Katelectrotonuszustand entstehen. Sind erst einmal die Bedingungen zum Entstehen eines Katelectrotonuszustandes vorhanden, so muss auch die Erregung dort entstehen. Es versteht sich von selbst, dass, wenn wir dabei das Galvanometer mit dem Kreise des reizenden Stromes verbinden, wie dies Fuhr gethan, wir gar keinen Grund haben, zu vermuthen, dass die Nadel im Sinne des Polarisationsstromes abgelenkt werden müsse.

Folglich scheint mir kein Zweifel vorhanden zu sein, dass die Polarisationstheorie fähig ist, die unvollständige Oeffnungserregung ganz ebenso zu erklären, wie auch die vollständige: hier wie da ruft die Oeffnung des reizenden Stromes im Nerven das Entstehen des Katelectrotonuszustandes hervor, nur mit dem Unterschiede, dass sich dieser Zustand bei einer vollständigen Oeffnung über das ganze Anelectrotonusgebiet, bei einer unvollständigen aber nur über dessen kleinere Strecke verbreitet.

Ausser der bezeichneten Ursache der unvollständigen Oeffnungserregung kann man noch auf eine andere hinweisen, welche aus unseren gegenwärtigen Vorstellungen ebenso unvermeidlich, wie auch die erstere folgt. Auf Grund der Untersuchungen von Pflüger ist es bekannt, dass die Vertheilung des Katelectrotonus und des Anelectrotonus im intrapolaren Raume bei verschiedenen Kräften des polarisirenden Stromes verschieden ist: bei starken Strömen gewinnt der intrapolare Anelectrotonus Uebergewicht, und bei schwachen umgekehrt der intrapolare Katelectrotonus. Diese Verhältnisse sind auf der oben angeführten Fig. 18

dargestellt, wo das Anelectrotonusgebiet des starken Stromes sich über die intrapolare Strecke bis zum Punkte i verbreitet, während es bei einem schwachen Strome nur den Punkt i′ erreicht. Wenn wir also den polarisirenden Strom schwächen und somit das Verbreitungsgebiet des intrapolaren Anelectrotonus auf Kosten einer entsprechenden Ausbreitung des Gebietes des intrapolaren Katelectrotonus verengen, so versetzen wir eine gewisse Strecke des intrapolaren Raumes (die Strecke i i′) aus dem Anelectrotonuszustande in den Katelectrotonuszustand, wobei freilich in dieser Nervenstrecke eine Erregung entstehen muss. Bei einer solchen Entstehungsart der unvollständigen Oeffnungserregung wird der Nerv nicht unter dem Einflusse des Polarisationsstromes, sondern unter dem Einflusse des polarisirenden Stromes erregt. Dieses erscheint aber unwesentlich, denn wir werden bald sehen, dass die Polarisationstheorie gar nicht darauf beharrt, jede Oeffnungserregung ausschliesslich durch den Polarisationsstrom zu erklären: sie behauptet nur, dass jede Oeffnungserregung nicht vom Verschwinden des Anelectrotonus, sondern von der aus irgend einer Ursache erfolgenden Entwickelung des katelectrotonischen Zustandes abhängt.

Ich gestehe zwar ein, dass die von mir aufgestellte Art und Weise, die unvollständige Oeffnungserregung zu erklären, manche Mängel besitzt, von denen die Abwesenheit unmittelbarer experimenteller Beweise besonders wichtig ist. Dessenungeachtet habe ich mich entschlossen, sie schon jetzt zu veröffentlichen, um zu zeigen, dass die Polarisationstheorie selbst auf dieser Seite, auf der sie die meisten Mängel und Lücken zu besitzen schien, doch nicht ganz der Vertheidigung entbehrt. Jedenfalls scheinen mir die angeführten Betrachtungen den Leser überzeugen zu müssen, dass die Erscheinung der unvollständigen Oeffnungserregung nicht als Beweis zu Gunsten der Erregungsfähigkeit des verschwindenden Anelectrotonus, wenigstens einstweilen, benutzt werden kann.

Damit beschliesse ich die Uebersicht der gegen die Polarisationstheorie gemachten Haupteinwände und gehe zur zweiten Frage über, bei der ich mich noch aufzuhalten beabsichtigte, nämlich zur Grützner-schen Erklärung der Oeffnungszuckungen, die bei der Nervenreizung in der Nähe des Querschnittes entstehen.

Ich habe oben schon bemerkt, dass die Polarisationstheorie den Polarisationsstrom nicht als die einzige Ursache der Oeffnungserregung betrachtet: die Oeffnungserregung kann noch vom Nervenstrome bedingt werden.

Die Thatsache, welche Grützner veranlasste, diese Wirkung dem Nervenstrome zuzuschreiben, besteht darin, dass an dem mittleren (stromlosen) Nerventheile die Oeffnungserregung nur bei verhältnissmässig starken Strömen erzielt werden kann, in der Nähe des Querschnittes

aber äusserst leicht entsteht[1]). Diese Thatsache erklärt Grützner auf Grund derselben Theorie, die ihm zur Erklärung der verschiedenen Nervenempfindlichkeit in der Nähe des Querschnittes gegen die Reizung durch Ströme von entgegengesetzten Richtungen diente (s. S. 164); d. h. er legt hier wie da ein grosses Gewicht darauf, in welchem Verhältniss die Richtung (nach dem Anzeigen des Galvanometers) des reizenden Stromes zu der des Nervenstromes steht.

Der Autor stützt sich in seinen Betrachtungen auf den Fall, wo der reizende Strom auf die in der Nähe des Querschnittes gelegene Nervenstrecke in aufsteigender, d. h. in der dem Nervenstrome entgegengesetzten Richtung (dieser letztere besitzt, wie das Galvanometer anzeigt, eine absteigende Richtung), wirkt, und behauptet, dass unter diesen Bedingungen eine Subtraction beider Ströme eintreten muss. Deshalb wird der Nervenstrom, je nach der Kraft des reizenden, entweder nur geschwächt oder gänzlich vernichtet. Wird nun der reizende Strom geöffnet, so kehrt der Nervenstrom zu seiner früheren Kraft zurück, in Folge dessen auch, wie Grützner meint, die Erregung entsteht. Also wird die Oeffnungserregung im Grunde auf eine durch die Wiederherstellung des Nervenstromes bedingte Schliessungserregung zurückgeführt.

Es ist klar, dass die angeführte Ansicht nur auf denjenigen Fall anwendbar ist, wo beide Ströme (der reizende und der Nervenstrom) eine einander entgegengesetzte Richtung besitzen. Deshalb dürfte Grützner's Erklärung nur dann zugegeben werden, wenn die Leichtigkeit, eine Oeffnungserregung in der Nähe des Querschnittes zu erzielen, ausschliesslich mit der aufsteigenden Richtung des reizenden Stromes verbunden wäre. Indessen erzeugen auch absteigende Ströme eine Oeffnungserregung ebenso leicht, wie die aufsteigenden, was Grützner unerklärt lässt.

Obwohl ich mit Grützner's Meinung hinsichtlich der wichtigen Bedeutung des Nervenstromes bei der Oeffnungserregung völlig einverstanden bin, so meine ich dennoch, dass auch hier seine Erklärung an demselben Mangel leidet, auf den ich früher hindeutete (S. 165). Ich glaube nämlich, dass es auch zur Erklärung der Oeffnungserregung gar nicht nöthig ist, irgend eine Rolle der relativen Richtung des reizenden und des Nervenstromes zuzuschreiben: die von mir entwickelte Summirungshypothese genügt vollkommen, um die von Grützner hervorgehobenen Thatsachen zu erklären.

Es wurde in einem von den vorigen Capiteln erwähnt, dass der Nerv in der Nähe des Querschnittes sich in dem Zustande des Katelectrotonus befindet (S. 165), d. h. von Nervenstromfäden durchdrungen

---

[1]) Diese Beobachtung wurde übrigens noch vor Grützner von Biedermann gemacht. Wiener Sitzungsber. Bd. LXXXIII. III. Abth. 1881. s. S. 305 und 306.

erscheint, die sich allenthalben aus dem Axencylinder in die Myelinsubstanz richten. Diese Fäden müssen, nach meiner Hypothese, sich mit den electrotonischen Fäden des reizenden Stromes summiren, wobei im Katelectrotonusgebiete des letzteren, wie dies oben entwickelt wurde, eine wechselseitige Addirung beider, und im Anelectrotonusgebiete deren wechselseitige Subtrahirung stattfinden muss. Also überall, wo im Anelectrotonusgebiete des reizenden Stromes dessen anelectrotonische Fäden in den Axencylinder einfliessen, vernichten sie, ihrer Kraft gemäss, entweder einen Theil oder alle katelectrotonischen Fäden des Nervenstromes, die in jedem gegebenen Punkte dem Axencylinder entfliessen. Wenn der reizende Strom geöffnet wird, so wird der Katelectrotonuszustand in seiner vollen Kraft wiederhergestellt, und demzufolge muss eine Oeffnungserregung entstehen. Es ist augenscheinlich, dass die vorgeschlagene Erklärung sich auf die Wirkung auf den Nerven sowohl des aufsteigenden, als auch des absteigenden Stromes anwenden lässt.

Jetzt, nachdem die beiden Punkte, bei denen wir uns im Laufe des ersten Abschnittes des gegenwärtigen Capitels aufzuhalten beabsichtigten, erörtert sind, können wir, wie ich glaube, mit vollem Rechte sagen, dass die Polarisationstheorie, welche die sämmtlichen Effecte der Reizung des Nerven durch die Anode des intermittirenden Stromes mit einer solchen Leichtigkeit erklären lässt, sich ebenso fähig erweist, auch alle Erregungserscheinungen an der Anode des constanten Stromes aufzuklären. Wenigstens hat Niemand bisher irgend einen Fall angezeigt, der als ein mehr oder minder überzeugender Beweisgrund für die Erregungsfähigkeit des verschwindenden Anelectrotonus dienen könnte. Es ist im Gegentheil möglich, zu zeigen, dass in allen Fällen, wo dieses Verschwinden von einer Erregung begleitet wird, im Nerven Bedingungen für das Erscheinen eines Katelectrotonuszustandes vorhanden sind. Da die Erregungsfähigkeit des letzteren nicht dem geringsten Zweifel unterliegt, so sind wir einstweilen augenscheinlich gezwungen, anzuerkennen, dass die Oeffnungserregung ihrer Natur nach sich durch Nichts von der Schliessungserregung unterscheidet.

Indem ich mich somit zu den Ansichten von Grützner und Tigerstedt bekenne, halte ich mich für berechtigt, zu behaupten, dass der Anelectrotonus weder im Momente seines Entstehens, noch seines Verschwindens, noch während seiner Wirkung auf den Nerven mit unveränderlicher Kraft durchaus keine Erregungswirkung besitzt, sondern dass diese ausschliesslich nur dem Katelectrotonuszustande eigenthümlich ist.

Lassen wir die Richtigkeit der aufgestellten Behauptung zu, so erhalten wir die Möglichkeit, das Gesetz der Erregung des Nerven durch

den electrischen Strom bis aufs Aeusserste zu vereinfachen und es nur auf den einzigen folgenden Satz herabzuführen.

Der electrische Strom ist nur in soweit zu erregen fähig, als er im Nerven einen Katelectrotonuszustand hervorruft.

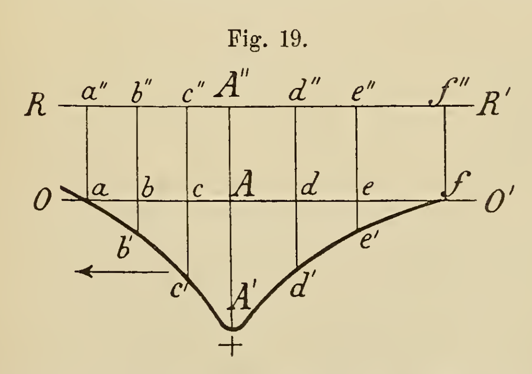
Dieser einzige Satz ist im Zusammenhange mit den uns bekannten Eigenschaften des Katelectrotonus (s. S. 157) hinreichend genug, um alle Effecte der Reizung des Nerven durch die Kathode und durch die Anode sowohl des intermittirenden, als auch des constanten Stromes aufzuklären.

B. Pflüger's anelectrotonische Erregbarkeitsabnahme.

Im gegenwärtigen Abschnitte muss ich wiederum zu meiner Summirungshypothese zurückkehren, um zu zeigen, dass sie bei unseren neuen Ansichten über die Erregungswirkung des Stromes zur Erklärung der Erscheinungen im Anelectrotonusgebiete vollkommen ausreicht. Bei dieser Erörterung werde ich ganz ebenso verfahren, wie bei derjenigen der entsprechenden Erscheinungen im Katelectrotonusgebiete, d. h. ich werde versuchen, alle Erscheinungen auf Grund der von mir dargelegten Ansichten rein deductiv zu erklären.

Nehmen wir an, dass die Linie O O' auf der beigefügten Fig. 19 einen Nerven darstellt, in welchem ein Strom in der durch den Zeiger angedeuteten Richtung fliesst. Die Anode des Stromes fällt auf den Punkt A, die Kathode aber (die auf der Figur nicht abgebildet ist) muss weiter links dargestellt werden. Der Nerv befindet sich auf beiden Seiten der Anode in einem Anelectrotonuszustande, d. h. er erscheint (auf Grund Hermann's Theorie) von einer Reihe von Zweigen des polarisirenden Stromes durchdrungen, welche in den Axencylinder hineinfliessen. Die Kraft dieser anelectrotonischen Zweige in verschiedenen Nervenpunkten ist auf der Figur durch die Curve a A' f dargestellt. Die

Fig. 19.



normale Erregbarkeit ist durch die Linie R R' ausgedrückt, deren Entfernung von der Linie O O' die zur Erlangung des Erregungsminimums erforderliche Katelectrotonushöhe bezeichnet.

Auf Grund unserer Summirungshypothese müssen wir annehmen, dass die Katelectrotonus- und Anelectrotonuszustände physikalisch einander entgegengesetzt sind, so dass sie sich beim Zusammentreffen an den nämlichen Nervenpunkten gegenseitig aufheben. Daraus folgt augenscheinlich, dass der reizende Strom, wenn man ihn an verschiedenen Punkten des polarisirten Nerven a, b, c, A u. s. w. einwirken lässt, nur dann eine Erregung hervorrufen kann, wenn die Kraft des von ihm erzeugten Katelectrotonus der Reihe nach den Linien a a'', b' b'', c' c'', A' A'' u. s. w. gleicht: ein Theil dieser Kraft, nämlich b' b, c' c, A' A u. s. w., muss zu der Eliminirung des im gegebenen Nervenpunkte anwesenden Anelectrotonus verbraucht werden, die übrigen Grössen a a'', b b'', c c'', A A'' u. s. w., die der Entfernung der Linie O O' von der Linie R R' entsprechen, versetzen den Nerven in einen Katelectrotonuszustand von einer Stärke, die schon im Stande ist, die ersten Erregungsspuren hervorzurufen. Wenn wir, der allgemein gebräuchlichen Methode gemäss, die Erregbarkeit des Nerven durch die zur Erlangung des Erregungsminimums nöthige Intensität des reizenden, d. h. des neu hinzukommenden Stromes messen würden, so müssten wir zu der Folgerung kommen, dass die Reizbarkeit im Gebiete des Anelectrotonus vermindert ist, und zwar je näher zum positiven Pole, desto stärker, d. h. zu einer Folgerung, die sich in vollkommener Uebereinstimmung mit den Thatsachen der Beobachtung befindet.

Die angeführten Betrachtungen beziehen sich auf den Fall, wo die Reizung des Nerven gleich nach der Schliessung des polarisirenden Stromes unternommen wird. Es ist aber augenscheinlich, dass das Wesentliche der Erscheinungen auch bei den weiteren Polarisationsstadien unverändert bleiben muss.

Complicationen, die man hier erwarten kann, betreffen nur zwei Punkte.

Erstens muss bei einer dauernden Polarisation der Anelectrotonuszustand des Nerven in Folge der Entwickelung des Polarisationsstromes allmälig geschwächt werden. Selbstverständlich muss diese Schwächung dazu führen, dass nun zur Erlangung einer Erregung eine schwächere Reizung genügen wird, als früher, so dass die Erregbarkeitsabnahme (dieser Ausdruck wird wiederum in seiner allgemein gebräuchlichen Bedeutung hier angewendet) im Laufe der Polarisation immer kleiner und kleiner wird. Das ist es eben, was Pflüger in Bezug auf die allmälige Modification der Reizbarkeit im Anelectrotonusbereiche festgestellt hat.

Zweitens ist es sehr möglich, dass auch die wahre Erregbarkeit des Nerven im Laufe der Polarisation nicht die nämliche Höhe behält. Da wir wissen, dass im Gebiete des Katelectrotonus die wahre Erregbarkeit herabgesetzt erscheint, da wir ausserdem wissen, dass die Erscheinungen

in den Gebieten des Katelectrotonus und des Anelectrotonus sich in vielen Beziehungen einander entgegengesetzt erweisen, so liegt der Gedanke nahe, dass die wahre Erregbarkeit im Bereiche des Anelectrotonus vielleicht allmälig steigt. Gäbe es eine derartige Steigerung, so müsste diese ebenso in Form einer allmäligen Schwächung des zur Erlangung eines Erregungsminimums erforderlichen Reizmittels zum Vorschein kommen.

Wie dem auch sei, mögen wir nämlich die Existenz einer Erregbarkeitssteigerung im Gebiete des Anelectrotonus anerkennen, oder annehmen, dass sie unverändert bleibt, — jedenfalls unterliegt es keinem Zweifel, dass die Summirungshypothese vollkommen die Möglichkeit liefert, sämmtliche Erscheinungen, die während der Polarisation beobachtet werden, zu erklären. Ebenso genügend lassen sich auch diejenigen Erscheinungen damit begründen, die sich nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes ereignen.

Wir wissen schon, dass nach dem Aufhören der Polarisation diejenige Nervenstrecke, die sich im Anelectrotonuszustande befand, unter dem Einflusse des Polarisationsstromes in den Katelectrotonuszustand versetzt wird. Kraft dessen müssen die Erscheinungen im Gebiete des Anelectrotonus nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes genau den Erscheinungen im Bereiche des Katelectrotonus während der Polarisation entsprechen, d. h. die Summirung der katelectrotonischen Fäden des reizenden Stromes mit den nämlichen Fäden des polarisirenden muss eine Steigerung des Effectes herbeiführen. Das wird, wie bekannt, in der That auch beobachtet.

Von diesem Standpunkte hängt die Steigerung des Effectes im Gebiete des Anelectrotonus nach dem Aufhören der Polarisation ebenso wenig von der Modification der wahren Nervenerregbarkeit ab, als auch diejenige Effectsabnahme, die während der Wirkung des polarisirenden Stromes beobachtet wurde. Uebrigens hätten wir, wenn sich die oben geäusserte Vermuthung über den Zustand der wahren Nervenerregbarkeit im Gebiete des Anelectrotonus als richtig erwiese, zwei Ursachen der Effectssteigerung hier vor uns, eine physikalische (die Summirung) und eine physiologische (die Erregbarkeitssteigerung).

Ob die in Rede stehende Steigerung des Effects von einer oder von zwei Ursachen abhängt, ist gleichgültig, jedenfalls muss sie mit der Zeit immer unmerklicher werden, einerseits in Folge einer allmäligen Schwächung des Polarisationsstromes, andererseits in Folge der Erholung des Nerven von der gesteigerten Erregbarkeit. Wie bekannt, wird eine derartige Vorstellung durch die Thatsachen vollkommen gerechtfertigt.

In der Gesammtheit der Erscheinungen der Effectmodification im Gebiete des Anelectrotonus, sowohl während der Polarisation, als auch

nach ihrem Aufhören, giebt es also keine einzige, die nicht unmittelbar aus unserer Summirungshypothese folge. Dies, glaube ich, berechtigt uns zu dieser Folgerung: im Anelectrotonusgebiete des polarisirten Nerven entsteht keine Abnahme der Erregbarkeit, wie sämmtliche Physiologen annehmen, sondern dasjenige, was man für eine solche Abnahme hält (Pflüger's anelectrotonische Erregbarkeitsabnahme), ist das Resultat rein physikalischer Processe der Vernichtung katelectrotonischer Fäden des reizenden Stromes durch anelectrotonische Fäden des polarisirenden.

Capitel X.

Weitere Beweise für die Summirungshypothese.

Uebersehen wir nun die Resultate, die in der ganzen Reihe der vorigen Capitel ermittelt wurden, so finden wir, dass die im Capitel I aufgestellte Aufgabe im Allgemeinen gelöst ist. Nachdem wir aus der Untersuchung der Nervenreizung durch den intermittirenden Strom die Ueberzeugung gewonnen haben, dass die allgemein gültigen Ansichten, die die Erregungswirkung ausschliesslich den Schwankungen der Stromdichtigkeit zuschreiben, nicht mit den thatsächlichen Angaben in Uebereinstimmung gebracht werden können, machten wir den Versuch, neue Vorstellungen darüber auszuarbeiten. Der Versuch hatte Erfolg, da es sich als möglich erwies, einen solchen Standpunkt zu finden, der alle Widersprüche zwischen den Erscheinungen der Nervenreizung durch den intermittirenden und den constanten Strom auszusöhnen und beide vollkommen befriedigend zu erörtern erlaubte. Dieser Standpunkt stützt sich auf die Annahme, dass den Stromschwankungen keine wesentliche Bedeutung zugeschrieben werden kann, sondern, dass der Strom die ganze Zeit, die er den Nerven durchfliesst, seine Erregungswirkung behält. Dabei musste man nothwendiger Weise eine derartige Erregungswirkung ausschliesslich den katelectrotonischen Stromzweigen zuschreiben, d. h. nur denjenigen, die nach Hermann's Electrotonustheorie dem Axencylinder entfliessen und auf diese Weise der negativen Polarisation als Ursprung dienen. Die anelectrotonischen Zweige aber, die in den Axencylinder einfliessen und eine positive Polarisation hervorrufen, wurden von uns (in Uebereinstimmung mit Grützner und Tigerstedt) unter allen Bedingungen als unwirksam erkannt. Auf Grund dieser neuen Ansichten über die Erregungswirkung des Stromes versuchten wir, die im Capitel I entwickelte Summirungshypothese auf Pflüger's Erscheinungen anzuwenden, wobei es sich ergab, dass unsere Hypothese die bezeichneten Erscheinungen ebenso leicht und einfach erklärt, wie

auch die Erscheinungen des physiologischen Electrotonus, welche bei der Wirkung der Inductionsströme auf den Nerven beobachtet werden; überall, wo auf Grund unserer Summirungshypothese eine Katelectrotonusverstärkung stattfinden muss, wird zugleich auch eine Effectsteigerung beobachtet, und umgekehrt, der Effect vermindert sich, sobald die Summirung eine Schwächung des katelectrotonischen Zustandes herbeiführt.

Somit beweisen sämmtliche obigen Untersuchungen ohne allen Zweifel, dass Pflüger's Erscheinungen durch die Summirungshypothese aufgeklärt werden können. Es kann aber daraus noch nicht unmittelbar gefolgert werden, dass sie durchaus von diesem Standpunkte aus erklärt werden müssen. Zu letzterem Schlusse könnten wir nur dann gelangen, wenn bewiesen wäre, dass die Summirung der electrotonischen Zweige des reizenden und des polarisirenden Stromes fähig ist, nicht nur die qualitative, sondern auch die quantitative Seite von Pflüger's Erscheinungen zu erklären, d. h. wenn es gelungen wäre, uns zu überzeugen, dass die Grösse der in jedem gegebenen Falle entstehenden Erregung genau durch die resultirende Höhe des Katelectrotonus in der gegebenen Nervenstrecke bestimmt wird.

Es versteht sich, dass die Möglichkeit, diesen Beweis zu liefern, für die Bestätigung nicht nur der Summirungshypothese, sondern auch derjenigen Ansichten, die wir hinsichtlich der Erregung des Nerven durch den Strom entwickelt haben, von grosser Bedeutung wäre. Wäre es in der That bewiesen, dass die Nervenerregung stets der Höhe des katelectrotonischen Zustandes genau entspricht, so könnte darnach schon kein Zweifel mehr daran bleiben, dass der Strom nur im Gebiete der Kathode, nur durch seine katelectrotonischen Zweige, und zwar unabhängig von den Stromschwankungen, zu erregen fähig sei.

Die Lösung dieser höchst wichtigen Aufgabe in ihrem vollen Umfange stösst zu unserem grössten Bedauern gegenwärtig auf unüberwindliche Schwierigkeiten, die theils schon im Charakter der der Untersuchung unterliegenden Erscheinungen, theils aber in der Mangelhaftigkeit der uns zur Verfügung stehenden Methoden wurzeln. Betrachten wir vorerst die Hindernisse, denen wir bei der Ermittelung einer genügenden Untersuchungsmethode begegnen.

Die Methode, mit deren Beihülfe wir die aufgestellte Frage lösen könnten, muss folgenden Bedingungen entsprechen:

A. Wollen wir beweisen, dass Pflüger's katelectrotonische Effectsteigerung nichts Anderes sei, als das Summirungsresultat von katelectrotonischen Zweigen des reizenden und des polarisirenden Stromes, so müssen wir die Möglichkeit besitzen:

1. eine gewisse Strecke des unpolarisirten Nerven durch den

Katelectrotonus einer Kraft a + b zu reizen und den dabei entstehenden Effect zu messen;

2. die nämliche Nervenstrecke durch den Katelectrotonus einer Kraft a zu polarisiren, und endlich
3. während der polarisirenden Wirkung des Katelectrotonus a den Nerven durch die Hinzufügung eines neuen Katelectrotonus b zu reizen und den entstehenden Reizungseffect wiederum zu messen.

B. Wollen wir aber beweisen, dass die Pflüger'sche anelectrotonische Effectsabnahme davon herrührt, dass die anelectrotonischen Zweige des polarisirenden Stromes die ihrer Intensität entsprechende Quantität von katelectrotonischen Zweigen des reizenden Stromes vernichten, so müssen wir die Möglichkeit haben:

1. eine gewisse Strecke des unpolarisirten Nerven durch den Katelectrotonus einer Kraft b — a zu reizen und den dabei entstehenden Effect zu messen;
2. die nämliche Nervenstrecke durch den Anelectrotonus einer Kraft a zu polarisiren, und endlich
3. während der polarisirenden Wirkung des Anelectrotonus a den Nerven durch den Katelectrotonus b zu reizen und den entstehenden Reizungseffect wiederum zu messen.

Aus der gegenseitigen Vergleichung der Effecte, die im ersten (A) und im zweiten (B) Falle unter den Bedingungen 1 und 3 zu Stande kommen, muss augenscheinlich eine unmittelbare Antwort auf die uns interessirende Frage folgen. Diese Bedingungen können wir in einer allgemeinen Form folgendermaassen ausdrücken: es ist nöthig, den Nerven in beiden zu vergleichenden Fällen in einen Katelectrotonuszustand von gleicher Höhe zu versetzen, wobei dieser Zustand in einem Falle von einem, im anderen aber von zwei nach einander geschlossenen Strömen herrühren muss.

Auf Grund der angeführten Bedingungen, denen eine für unsere Zwecke genügende Methode entsprechen muss, bemerken wir sogleich, dass unsere Aufgabe sich überhaupt nicht lösen lässt: es giebt zur Zeit kein Mittel zur Messung der Kraft, welche die electrotonischen Zweige des reizenden und des polarisirenden Stromes im gegebenen Nervenpunkte besitzen. Die Lösung ist aber möglich in Bezug auf einen speciellen Fall, wenn wir nämlich zur Reizung Schliessungen des constanten Stromes (nicht aber Inductionsschläge) gebrauchen und dabei diesen Strom auf dieselbe Nervenstrecke, welche auch für die Polarisation dient (nicht aber auf die benachbarte, wie in den Pflüger'schen Versuchen), wirken lassen. —

Dass bei einem solchen Ersatze zweier Nervenstrecken durch eine das Wesentliche der Experimente unverändert bleibt, davon überzeugen uns folgende einfache Betrachtungen. Wenn wir unter solchen Bedingungen zur Reizung und zur Polarisation Ströme von einer und derselben Richtung anwenden, so stellen wir, im Grunde genommen, den Pflüger-schen Versuch über die Nervenerregbarkeit im Katelectrotonusgebiete an: die Kathode des reizenden Stromes, welche allein fähig ist, bei der Stromschliessung zu erregen, trifft mit der Kathode des polarisirenden Stromes zusammen. Ebenso muss der Fall, wo der reizende und polarisirende Strom entgegengesetzte Richtungen besitzen, mit dem Falle der Reizung des polarisirten Nerven im Anelectrotonusgebiete verglichen werden: die Kathode des reizenden Stromes trifft jetzt mit der Anode des polarisirenden zusammen.[1])

Jetzt, da wir beschlossen haben, für die Reizung und für die Polarisation eine und dieselbe Nervenstrecke zu gebrauchen, können wir unsere Aufgabe schon in folgender Form ausdrücken: es ist nöthig, den Nerven in den zwei zu vergleichenden Fällen durch Ströme von gleicher Intensität zu reizen, wobei die gegebene Stromstärke in einem Falle von der Schliessung des einen, im anderen aber von den nach einander folgenden Schliessungen zweier Ströme herrühren muss.

Es ist klar, dass diese letztere Formulirung unserer Aufgabe, wo die Rede allenthalben schon von Strömen, und nicht mehr von Katelectrotonuszuständen von gleicher Kraft ist, im Wesentlichen mit der ersten genau zusammentrifft: Ströme von gleicher Kraft müssen bei der Wirkung auf die nämliche Nervenstrecke gleiche Katelectrotonuszustände hervorrufen.

Wird die Aufgabe in diesem letzteren Sinne gestellt, so begegnet sie bei ihrer Lösung schon keinen so grossen Schwierigkeiten mehr.

Die von mir im gegebenen Falle benutzte Methode erscheint derjenigen ähnlich, die ich früher zur Erzielung der Möglichkeit, den Nerven durch den intermittirenden Strom während der Polarisation zu reizen, gebrauchte (s. S. 53). Die Einzelheiten des Verfahrens in der Form, wie es beim Experimentiren benutzt wurde, sind auf der beigefügten Fig. 20 schematisch dargestellt.

Zwei Batterien, A und B, jede mit ihrem Rheochord (R′ und R) verbunden, bilden zwei vollkommen selbstständige Stromkreise, die völlig unabhängig von einander geschlossen und geöffnet werden können (diese Kreise werde ich im Folgenden mit A und B bezeichnen).

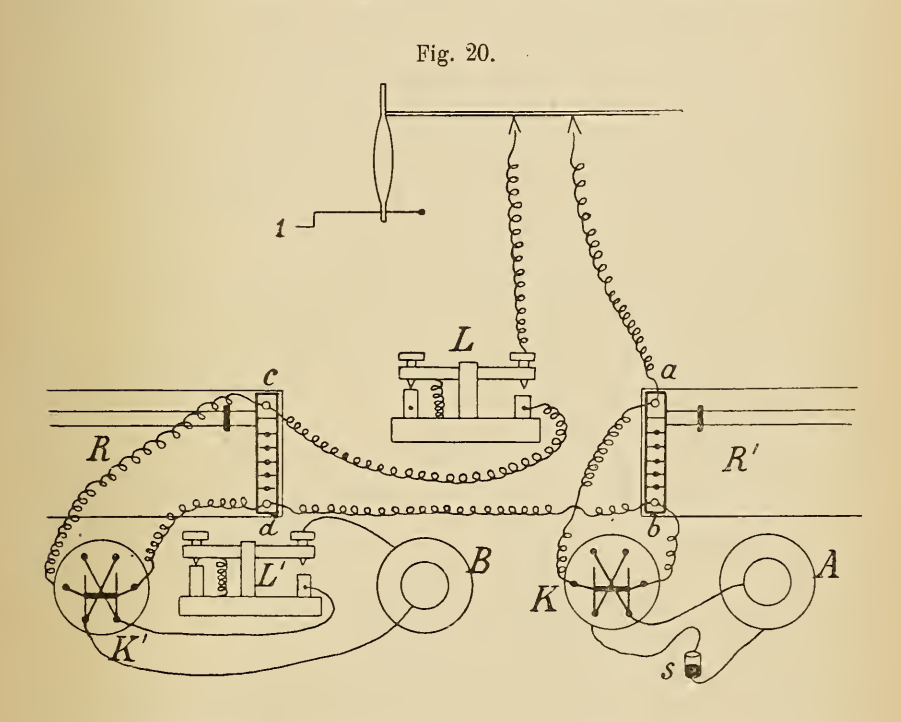
---

[1]) Vergl. Hermann, Handb. d. Physiologie, Bd. II., Thl. I., S. 77.
O. Nasse. Pflüger's Arch., Bd. III. 1870.
Hermann. Pflüger's Arch., Bd. XXX. 1883.

In den Kreis A ist, ausser dem Stromwender K, noch ein Quecksilbernäpfchen s eingefügt, welches zur Schliessung und Oeffnung des Stromes dienen soll. In den Kreis B ist der Stromwender K' und der Helmholz'sche Hebel L' eingeführt. Befindet sich der letztere in einer Lage, wie sie auf der Figur dargestellt ist, so bleibt der Kreis geöffnet, er kann aber in jedem beliebigen Momente durch einen Druck auf den rechten Arm des Hebels geschlossen werden.

Beide beschriebenen Kreise sind durch die Rheochorde mit dem dritten, dem Nervenkreise, verbunden, in welchen sie diesen oder jenen Theil (je nach der Aufstellung der Rheochorde) des in ihnen circulirenden

Fig. 20.



Stromes abzweigen. In den Nervenkreis ist der Helmholz'sche Hebel L eingeführt, vermittelst dessen er in jedem beliebigen Momente geschlossen werden kann (bei der auf der Figur dargestellten Lage des Hebels bleibt der Kreis geöffnet).

Die beschriebene Versuchsanordnung erlaubt uns, die Wirkung zweier Ströme auf den Nerven auf jede uns nöthig erscheinende Weise zu combiniren.

Bezeichnen wir den in den Nervenkreis einfliessenden Stromzweig der Batterie A als einen Strom a, und den entsprechenden Zweig der Batterie B als einen Strom b, so können wir sämmtliche Fälle, die durch unsere Methode ermöglicht werden, folgendermaassen darstellen:

1. Wir können beide Ströme zugleich, d. h. einen Strom a + b, auf den Nerven wirken lassen. Dazu müssen wir den Nervenkreis schliessen, nachdem vorläufig sowohl der Stromkreis A, als auch der Stromkreis B geschlossen worden.
2. Wir haben die Möglichkeit, den Strom a allein auf den Nerven wirken zu lassen. Dazu müssen wir den Nervenkreis schliessen, nachdem vorläufig der Stromkreis A geschlossen und der Stromkreis B geöffnet worden ist.
3. Wir können den Nerven während der Wirkung des Stromes a noch durch den Strom b reizen. Dazu müssen wir nur, nachdem der Strom a auf die oben erörterte Weise durch den Nerven durchgelassen ist, den Stromkreis B schliessen.

Dem Gesagten muss noch hinzugefügt werden, dass wir die volle Möglichkeit haben, jedem von den Strömen a und b eine beliebige Kraft (vermittelst der Rheochorde R′ und R) und eine beliebige Richtung (vermittelst der Stromwender K und K′), ganz unabhängig von der Kraft und der Richtung des anderen Stromes zu geben.

Die von mir nach der oben beschriebenen Methode angestellten Experimente zerfallen natürlicher Weise in zwei Kategorien: die eine, in welcher beide Ströme die gleiche Richtung besitzen, und in die andere, in der ihre Richtungen einander entgegengesetzt sind. Beide Fälle sollen getrennt beschrieben werden.

A. Die Ströme a und b besitzen die gleiche (absteigende) Richtung.

Bei den sogleich zu beschreibenden Experimenten wollte ich somit den Versuch machen, zu zeigen, inwieweit meine Summirungshypothese im Stande sei, die quantitativen Verhältnisse der Pflüger'schen katelectrotonischen Effectsteigerung zu erklären.

Zu diesem Zwecke musste ich, wie oben erörtert wurde, die Effecte vergleichen, welche einerseits bei der Wirkung (Schliessung) des Stromes a + b auf den unpolarisirten Nerven, und andererseits bei Wirkung (Schliessung) des Stromes b auf den durch den Strom a polarisirten Nerven erhalten werden. Gelänge es, zu beweisen, dass in beiden Fällen bei allen möglichen Kräften der Ströme a und b stets die nämlichen Effecte entstehen, so wäre die Richtigkeit der Summirungstheorie ausser Zweifel gesetzt.

Indessen kann man leicht darthun, dass eine derartige Gleichheit der Effecte unmöglich ist, wenigstens wenn die von mir in der ganzen Reihe der vorherigen Capitel entwickelten Ansichten richtig sind. Diese Unmöglichkeit wird nämlich durch die von uns angenommene Eigenschaft des Katelectrotonus, die wahre Nervenerregbarkeit zu vermindern, bedingt.

In der That, wenn wir den unpolarisirten Nerven durch die Schliessung des Stromes a + b reizen, so reizen wir einen Nerven, der eine vollkommen normale Erregbarkeit besitzt. Wenn wir aber den durch den Strom a polarisirten Nerven durch die Schliessung des Stromes b reizen, so muss die Erregbarkeit unter dem Polarisationseinflusse des Stromes a herabgesetzt erscheinen. In Folge dessen muss der Effect, der im zweiten Falle entsteht, schwächer sein als derjenige im ersten, und dabei noch um so schwächer, je mehr es dem polarisirenden Strome a gelungen war, die Erregbarkeit zu verringern. Somit gestattet uns der Charakter der zu untersuchenden Erscheinungen selbst keineswegs die Annahme, dass die Richtigkeit der Summirungshypothese auf eine so einfache und evidente Weise bewiesen werden könnte. Dennoch können unsere Versuche desswegen nicht ihre Bedeutung verlieren. Wohl giebt es in der Literatur Ansichten, die den von uns soeben ausgesprochenen Vermuthungen sehr schroff widersprechen. So finden wir bei Grützner[1]) folgenden Satz:

> „Ein electrischer Strom von der Grösse a + b, durch einen stromlosen Nerven geschickt, wirkte hiernach nicht reizend, der Strom b allein aber, nachdem der Nerv einige Zeit von a durchsetzt ist, möglicherweise schon stark reizend."

Da Grützner diesen Satz aus den Pflüger'schen Gesetzen der Erregbarkeitsänderungen im polarisirten Nerven ableiten zu können glaubt, so können die nachfolgenden Versuche einigermaassen als Experimentum crucis zwischen der Summirungstheorie und allgemein anerkannten Ansichten betrachtet werden.

Ueber die Einzelheiten von der Anordnung der Experimente muss ich zum oben Gesagten noch Folgendes hinzufügen:

Da ich untereinander Effecte vergleichen wollte, die durch eine gleichzeitige und nacheinanderfolgende Schliessung der Summe zweier Ströme hervorgerufen wurden, so musste ich eine Bedingung beobachten, ohne welche das Experiment jede Bedeutung verloren hätte. Ich musste nämlich beiden Strömen eine solche Kraft verleihen, dass die bei ihrer gleichzeitigen Schliessung entstehende Muskelzuckung keineswegs die maximale Höhe erreiche: nur in diesem Falle kann man versichert sein, dass sogar die kleinsten Differenzen der Grösse der Nervenerregung in beiden zu vergleichenden Fällen unserer Beobachtung nicht entgehen werden. Indem ich diese Bedingung befolgte, modificirte ich zugleich, so weit als möglich, die Kraft des Stromes a, d. h. desjenigen, der in meinen Versuchen als der polarisirende diente. Um seine Kraft möglichst genau reguliren zu können, führte ich in den Stromkreis A nicht

[1]) Pflüger's Archiv. Bd. XXVIII. 1882. S. 144.

das gewöhnliche Rheochord von du Bois-Reymond ein, wie dies auf der Figur dargestellt ist, sondern einen Compensator mit sehr dickem Drahte. Bei der Benutzung des letzteren wurden ziemlich bedeutende Contactverschiebungen von einer sehr unbedeutenden Kraftveränderung des zum Nerven abgezweigten Stromes begleitet. Um überhaupt irgend einen Begriff von der Kraft dieses Stromes bei verschiedenen Lagen des Contactes des Compensators zu geben, will ich die Bemerkung machen, dass ich bei der Reizung durch den Strom a allein zur Erzielung der ersten Erregungsspuren nicht weniger als 35 cm. Draht einführen musste. In den Stromkreis B wurde ein gewöhnliches Rheochord von du Bois-Reymond eingeführt. Beide Batterien, A und B, bestanden aus 1 Daniell.

Das Gesammtexperiment wurde folgendermaassen angestellt:

Nachdem ich anfangs eine beliebige Länge des Drahtes des Compensators R' eingefügt (bei verschiedenen Experimenten schwankte die bezeichnete Länge zwischen $^1/_2$ und 30 cm.), suchte ich eine Lage des Bewegungscontactes des Rheochordes R auf, bei welcher die Schliessung des Stromes a + b Zuckungen von untermaximaler Höhe erzeugte. Als die erforderliche Lage gefunden war, ging ich zum Hervorbringen der beiden Effecte, die verglichen werden sollten, über. Zu diesem Zwecke reizte ich den Nerven erst 4 Mal nacheinander durch Schliessungen des Stromes a + b, und nachher, nachdem der Strom a vorläufig geschlossen war, reizte ich den Nerven ebenso 4 Mal durch den Strom b. — Das Resultat der Experimente folgte nun unmittelbar aus der Vergleichung der Höhen der in beiden Fällen erzielten Muskelzuckungen.

Zur Erläuterung dieses Resultats führe ich nun als Beispiele die vier Myogramme unter NNo. 80—83 an; auf jedem sind je zwei unmittelbar aufeinander folgende Experimente notirt.

Auf diesen Myogrammen wurde die obere Linie durch den Muskel aufgeschrieben, die zweite notirt die Schliessungs- und Oeffnungsmomente sowohl des Stromes a + b, als auch des Stromes a allein (zur Unterscheidung dieser Momente sind an den entsprechenden Orten der Myogramme die Zeichen a + b und a angebracht); die dritte Linie endlich markirt die Schliessungs- und Oeffnungsmomente des Stromes b. Den Schliessungsmomenten entsprechen stets die Hebungen und den Oeffnungsmomenten die Senkungen der Linie.

Die Reizung durch den Strom a + b des unpolarisirten und durch den Strom b des durch den Strom a polarisirten Nerven erzeugte nur auf den beiden ersten Myogrammen (NNo. 80 und 81) gleiche oder fast gleiche Effecte, als der Strom a sehr schwach war (er entsprach $^1/_2$ cm. des Compensatordrahtes im ersteren und 1 cm. im zweiten Falle). Aber auch hier wurde eine derartige Gleichheit nur bei der ersten Reihe von

Reizproben beobachtet (die 8 ersten Zuckungen auf beiden Myogrammen). Bei der zweiten aber (die zweite Serie der Zuckungen) prävalirten schon die Zuckungen, welche bei der Reizung des unpolarisirten Nerven durch den Strom a + b erhalten wurden.

Das Myogramm unter No. 82 wurde bei einem Experimente entworfen, bei welchem die Intensität des Stromes a 4 cm. des Compensatordrahtes entsprach. Wir sehen hier, dass schon beim ersten Experimente die Reizung durch den Strom b während der Polarisation durch den Strom a viel schwächere Muskelzuckungen erzeugte, als die Reizung durch den Strom a + b. Beim zweiten Versuche wurde dasselbe nur noch in viel schärferer Form beobachtet.

Das Myogramm unter No. 83 wurde bei der Einführung von 10 cm. Compensatordraht erhalten. Wir sehen hier, dass schon beim ersten Experimente die Reizung durch den Strom b während der Polarisation durch den Strom a ganz ohne Effect blieb, während jede Schliessung des Stromes a + b Zuckungen von ziemlich bedeutender Grösse erzeugte. Das nämliche Resultat wurde auch beim zweiten Experimente beobachtet.

Bei der weiteren Verstärkung des Stromes a bleibt das Resultat unverändert: die aufeinander folgende Schliessung der Ströme a und b erzeugt nicht den geringsten Effect selbst dann, wenn ihre gleichzeitige Schliessung Zuckungen von maximaler Höhe hervorruft.

Augenscheinlich stimmen sämmtliche eben beschriebenen Experimente, so als nur irgend möglich, mit meinen Vorstellungen überein. Die Erzielung des gleichen Effectes bei der gleichzeitigen und der aufeinanderfolgenden Schliessung beider Ströme ist von meinem Standpunkte aus nur dann möglich, wenn der Strom a keine Erregbarkeitsabnahme hervorruft. Die Abwesenheit dieser Abnahme oder wenigstens ihre Entwickelung in einem so geringen Grade, dass sie keinen merkbaren Einfluss auf das entstehende Resultat auszuüben vermag, kann allerdings nur bei den kleinsten Kräften des Stromes a erwartet werden. Und wir sehen in der That, dass eine vollständige Gleichheit der Effecte nur bei solchen Kräften dieses Stromes beobachtet wird, die fast gleich null sind. Sobald der Strom a etwas stärker ist, offenbart sich die durch ihn erzeugte Erregbarkeitsabnahme sogleich in einer immer schrofferen Schwächung des bei der aufeinanderfolgenden Reizung hervortretenden Effectes.

Es kann also nach den oben angeführten Experimenten keinem Zweifel unterliegen, dass unsere Summirungshypothese zur Erklärung der quantitativen Seite von Pflüger's katelectrotonischer Effectsteigerung vollkommen ausreicht, wenigstens in Bezug auf den von uns untersuchten speciellen Fall. Es kann auch darüber kein Zweifel bestehen, dass die Voraussetzung von Grützner,

die aufeinanderfolgende Schliessung zweier Ströme vermöge einen stärkeren Effect als deren gleichzeitige Schliessung zu erzeugen, mit den Thatsachen nicht übereinstimmt.

B. Beide Ströme a und b besitzen die entgegengesetzte Richtung.

Bei den Experimenten mit entgegengesetzter Richtung beider Ströme, welche die Frage über die Anwendbarkeit der Summirungshypothese zur Erklärung der quantitativen Seite der Pflüger'schen anelectrotonischen Effectabnahme zu lösen hatten, wurde in die Kreise der Batterien A und B ebenfalls nur je ein Element von Daniell eingefügt. Der Strom b behielt stets die absteigende, der Strom a die aufsteigende Richtung bei. Um die entgegengesetzten Richtungen beider Ströme zu bezeichnen, werde ich vor den Buchstaben a das Minuszeichen setzen.

Bei diesen Versuchen ging ich von folgenden Betrachtungen aus. Stellen wir uns vor, dass wir es mit zwei einander ihrer Kraft nach ganz gleichen Strömen —a und b zu thun haben, so muss ihre gleichzeitige Schliessung im Nerven ohne jeden Effect bleiben, wie gross die absolute Kraft der beiden Ströme auch sein mag: beide Ströme vernichten einander gänzlich und ihre gleichzeitige Wirkung entspricht der Erhaltung des Nerven in voller Ruhe. Stellen wir uns nun vor, dass die nämlichen Ströme nacheinander geschlossen werden, wobei erst der Strom —a, der die polarisirende Wirkung ausübt, geschlossen wird, und dass gleich nachher der Strom b auf den Nerven wirkt. Vom Standpunkte der Summirungshypothese muss dann die Schliessung des Stromes b auch hier wirkungslos bleiben: in Folge der Gleichheit der Kräfte beider Ströme werden die katelectrotonischen Zweige des Stromes b ganz, ohne jeden Rest, durch die anelectrotonischen Zweige des Stromes —a vernichtet. Folglich kann eine Erregung bei der Schliessung des Stromes b im polarisirten Nerven nur in dem Falle erzielt werden, wenn die Kraft dieses Stromes diejenige des Stromes —a übertrifft, so dass bei der Summirung der beiden ein Theil der katelectrotonischen Zweige des Stromes b unversehrt bleibt.

Um die Richtigkeit dieses Schlusses zu prüfen, stellte ich Experimente auf folgende Weise an.

Nachdem eine beliebige Länge des Drahtes des Rheochordes R' eingeführt war (ich gebrauchte für die Experimente schon nicht den Compensator, sondern das Rheochord von Du Bois-Reymond, wie dies auch auf der Fig. 20 dargestellt ist), nachdem also für den Strom —a eine bestimmte Kraft gewählt war, suchte ich eine entsprechende Kraft für den Strom b aufzufinden. Zu diesem Zwecke reizte ich bei ge-

schlossenen Kreisen beider Batterien A und B den Nerven mehrmals nacheinander durch Schliessungen des Nervenkreises, indem ich den beweglichen Contact des Rheochordes R hin und her rückte. Hierbei kann leicht eine Lage des Contactes gefunden werden, bei welcher die Schliessung des Nervenkreises ohne Effect bleibt, also die Ströme —a und b ungefähr die gleiche Kraft besitzen.

Ist nun eine solche Schieberlage des Rheochordes R gefunden, dann gehen wir zur genaueren Aufstellung über. Zu diesem Zwecke müssen wir zu allererst diejenigen beiden äussersten Lagen des Rheochordschiebers bestimmen, bei denen die Schliessung des Nervenkreises schon beginnt, die ersten Erregungsspuren hervorzurufen. Diese Lagen werden augenscheinlich den Fällen entsprechen, wo einer von den Strömen —a und b den anderen auf eine der Reizschwelle entsprechende Grösse übertrifft. Diese Schieberlagen werden wir die erste und die zweite nennen, je nachdem der Strom —a oder der Strom b das Uebergewicht erhält.

Es versteht sich, dass zwischen diesen beiden Lagen eine solche sich befinden muss, bei welcher die Ströme —a und b einander gegenseitig das absolute Gleichgewicht halten. Diese Lage wird sich nicht genau in der Mitte zwischen den von uns notirten Schieberlagen, sondern näher der ersteren befinden (wie leicht aus der Theorie des Rheochords abgeleitet werden kann).

Für meine Versuche näherte ich den Schieber der zweiten Lage[1]), so dass der Strom b den Strom —a unzweifelhaft etwas übertreffen musste.

Nachdem eine solche Aufstellung erzielt war, ging ich zu den Experimenten über, bei denen ich auf den Nerven der Reihe nach erst durch den Strom —a und nachher durch den Strom b wirkte. Dabei erwies es sich, dass, indem wir dem Strome —a alle möglichen Kräfte (in den Grenzen von 1 D.) verliehen, die Schliessung des Stromes b dennoch wirkungslos blieb. Mit anderen Worten, die Reizung des Nerven durch Stromschliessungen erzeugt keinen Effect, wenn die im Nerven anwesenden anelectrotonischen Zweige im Stande sind, alle oder fast alle katelectrotonischen Zweige des reizenden Stromes zu compensiren.

Auf diese Weise gehen die Erscheinungen vor sich, wenn der Strom b seiner Kraft nach dem Strome —a gleich kommt oder ihn nur etwas übertrifft. Wenn wir aber den Schieber des Rheochords R in die zweite Lage bringen, bei welcher auf der Seite des Stromes b ein der Reizungs-

[1]) Ich theilte den zwischen den beiden äussersten Schieberlagen liegenden Draht in vier Theile und stellte den Schieber in der Entfernung des ersten Viertels von der zweiten Lage auf.

schwelle des normalen Nerven entsprechendes Uebergewicht existirt, dann erzeugt die während der Polarisation durch den Strom —a angestellte Schliessung des Stromes b Zuckungen von meistentheils sehr bedeutender Grösse[1]). Mit anderen Worten, die Reizung des Nerven durch Stromschliessungen wird stets von einem Effect begleitet, sobald die im Nerven anwesenden anelectrotonischen Zweige nicht im Stande sind, alle katelectrotonischen Zweige des reizenden Stromes zu compensiren, sondern einen Ueberschuss unberührt lassen, der zur Erregung eines normalen Nerven ausreicht.

Sichtlich harmonirt das Resultat der beschriebenen Versuche so weit als nur möglich mit der von uns entwickelten Summirungshypothese.

Ich muss hier noch die Bemerkung machen, dass bei den beschriebenen Experimenten die rein physikalische Natur von Pflüger's anelectrotonischer Effectabnahme besonders sichtbar hervortritt. Es ist in der That klar, dass bei der Gleichheit der Kräfte beider Ströme das Durchfliessen des Stromes b in einem durch den Strom —a polarisirten Nerven der Oeffnung des letzterwähnten Stromes entspricht: es findet in beiden Fällen ein plötzliches Verschwinden des Stromes statt, welcher im Nerven circulirte. Da aber die Oeffnung eines Stromes von einer Kraft, die unter 1 D. steht, in der mittleren Nervenstrecke (bei sämmtlichen beschriebenen Experimenten benutzte ich zur Reizung ausschliesslich nur die mittlere Nervenstrecke) keine Oeffnungserregung (s. S. 67) hervorruft, so muss auch die Schliessung des Stromes b ebenso ohne jeden Effect bleiben. Also kann schwerlich bezweifelt werden, dass der reizende Strom einfach deswegen ohne Effect bleibt, weil er ganz und gar zur Vernichtung des im Nerven schon circulirenden Stromes von entgegengesetzter Richtung aufgebraucht wird.

Ganz dasselbe muss aber auch in dem Falle stattfinden, wenn wir zur Reizung eine im extrapolaren Anelectrotonus liegende Nervenstrecke gebrauchen: auch hier wird das Ausbleiben des Reizungseffectes dadurch bedingt, dass die katelectrotonischen Zweige des reizenden Stromes durch die entgegengesetzt gerichteten anelectrotonischen Zweige des polarisirenden Stromes vernichtet werden. Die bezeichneten beiden Fälle unterscheiden sich nur unwesentlich in einer Hinsicht. Wenn beide Ströme, der reizende und der polarisirende, die nämliche Nervenstrecke in entgegengesetzter Richtung durchfliessen, so ist, gleichzeitig mit dem Gegen-

[1]) Ich führe keine Beispiele an, da der wesentliche Theil der Experimente, der in einer richtigen Aufstellung des Schiebers des Rheochords R besteht, ohnehin auf den Myogrammen nicht dargestellt werden kann.

satze der Richtungen der in der Tiefe des Nerven verlaufenden electrotonischen Zweige, auch ein vollkommener Gegensatz in allen Theilen der beiden Stromkreise vorhanden. Wenn aber der reizende Strom auf das extrapolare Anelectrotonusgebiet des polarisirenden angewandt wird (wie bei Pflüger's Experimenten), so existirt in den äusseren Theilen beider Stromkreise, die nun von einander vollkommen isolirt sind, keine derartige Wechselwirkung; nur in der Tiefe des Nerven, wo die Stromwege sich durchkreuzen, erscheint die gegenseitige Summirung ihrer electrotonischen Zweige. Da der Reizungseffect ausschliesslich nur durch diejenige Stromwechselwirkung bestimmt werden kann, die in der Tiefe des Nerven, nicht aber in den äusseren Theilen der Stromkreise stattfindet, so muss der erwähnte Unterschied in der Methode der Anwendung des reizenden Stromes für den Nerven ganz indifferent sein. Der Beobachter aber, dem nur die Erscheinungen in den äusseren Theilen der Stromkreise unmittelbar zugänglich sind, kann sehr leicht in einen Irrthum verfallen und die Existenz einer Grundverschiedenheit da zu erkennen glauben, wo der ganze Unterschied nur auf unwesentliche Verschiedenheiten der Wechselwirkung der Ströme in den äusseren Kreistheilen hinausläuft.

Capitel XI.

Schwierigkeiten auf dem Wege der im Laufe dieser Untersuchung entwickelten Ansichten. Schlussfolgerungen.

Jetzt, nachdem unsere Untersuchung zu ihrem Ende gelangt ist, wollen wir versuchen, die Folgerungen, zu welchen uns die Analyse theils der neu ermittelten, theils der allgemein bekannten und festgesetzten Thatsachen gebracht hat, in der allgemeinsten Form auszudrücken.

Sämmtliche Resultate der Untersuchung lassen sich gänzlich durch die drei Sätze erschöpfen, die wir in der vorhergehenden Darstellung besonders hervorhoben. Nämlich:

1. Der electrische Strom besitzt nur insoweit die Fähigkeit, einen Nerven zu erregen, als er in ihm einen Katelectrotonuszustand hervorruft (s. S. 211).
2. Der Katelectrotonus ist fähig, den Nerven fortwährend zu erregen (s. S. 157).
3. Der Katelectrotonus besitzt die Eigenschaft, eine im Laufe der Polarisation stets progressirende Erregbarkeitsabnahme hervorzurufen (s. S. 157).

Auf Grund dieser drei Sätze erscheint es, wie wir in den Capiteln V, VI, VIII und IX sahen, möglich, das ganze bunte Erscheinungsbild der Erregung des Nerven sowohl durch den intermittirenden, als auch durch den constanten Strom, nicht nur zu erklären, sondern schon a priori abzuleiten. Wenn wir uns aber an die Electrotonustheorie von Hermann halten, d. h. wenn wir annehmen, dass der Strom auf den Nerven nur insoweit wirkt, als er diese oder jene Polarisationsprocesse hervorruft, so kommen wir auf Grund der nämlichen drei Sätze zu unserer Summirungshypothese, die einen Schlüssel zur Auffassung von Pflüger's Erscheinungen des physiologischen Electrotonus darbietet. Im Wesentlichen bekommen wir also die Möglichkeit, auf eine ganz bestimmte Weise drei grosse Erscheinungsgruppen unter einander zu verbinden, nämlich die Erscheinungen des galvanischen, physiologischen Electrotonus

und die Erscheinungen der Nervenerregung durch den Strom, deren Zusammenhang zwar von allen Physiologen anerkannt wird, die aber bei den herrschenden Ansichten theoretisch bisher fast vollkommen isolirt blieben[1]). In Anbetracht dessen, dass für jeden von unseren drei Sätzen mehr oder minder gewichtige positive Beweise angeführt wurden, und ferner, da es im ganzen Gebiete der Erscheinungen der electrischen Reizung keine einzige festgestellte Thatsache giebt, die in einem erheblichen Widerspruche zu ihnen stände, so müssen wir meiner Meinung nach anerkennen, dass die von mir verfochtenen Ansichten gegenwärtig ein ganz gesetzmässiges Existenzrecht besitzen. Wenn sie vielleicht auch keine Schlusserklärung der Erscheinungen der Stromwirkung auf den Nerven vorstellen, so können sie immerhin als Mittel benutzt werden, unsere Kenntnisse auf diesem Gebiete zu systematisiren.

In der That, so sehr auch die Mannigfaltigkeit des thatsächlichen Materials den Weg, auf dem wir zu unseren Schlussfolgerungen gelangten, erschwerte, so würde sich der nämliche Weg ebenso leicht erweisen, wollten wir ihn nun in entgegengesetzter Richtung machen, d. h. wollten wir nun die Thatsachen auf Grund unserer drei Sätze im Zusammenhange mit Hermann's Electrotonustheorie darstellen. Wir würden dabei ersehen, dass sämmtliche, selbst die kleinsten Thatsachen eng unter einander verbunden sind, eine aus der anderen folgen und ein unzertrennliches Ganzes bilden, welches im Gedächtniss leichter behalten werden kann, als bei der Darstellung der nämlichen Thatsachen von den allgemein gültigen Standpunkten. Wenn der Leser sich die Mühe giebt die Thatsachen nach dieser Richtung von neuem durchzusehen, so wird er sich leicht von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen.

Dennoch, ungeachtet aller bezeichneten Vorzüge der von mir entwickelten Ansichten, giebt es auf ihrem Wege ernsthafte Hindernisse. Uebrigens beziehen sich diese Hindernisse nicht unmittelbar auf diejenigen drei Sätze, die die Hauptgrundlage aller unserer Vorstellungen bilden, sondern nur auf unsere Summirungshypothese. Nehmen wir aber darauf Rücksicht, dass die letztere nur eine unmittelbare Folgerung aus Her-

---

[1]) Der Leser hat ohne Zweifel bemerkt, dass ich in meinen sämmtlichen Betrachtungen und Folgerungen ausschliesslich nur die Nervenerscheinungen berühre und den Muskel gänzlich bei Seite lasse, und also in dieser Hinsicht gegen den jetzt herrschenden Gebrauch, die Eigenschaften beider Organe gleichzeitig zu besprechen, handele. Es unterliegt keinem Zweifel, dass dieser Gebrauch gesetzmässig ist, da die Erscheinungen, die bei der Wirkung verschiedener Einflüsse auf den Nerven und auf den Muskel beobachtet werden, meistentheils vollkommen gleich sind und sich nur quantitativ von einander unterscheiden. Wenn ich mich auf die Analyse der Erscheinungen im Nerven beschränke, so geschieht es einfach nur deswegen, weil alle meine Experimente ausschliesslich an den Nerven angestellt wurden.

mann's Electrotonustheorie und aus unseren Ansichten über die Erregungswirkung des Stromes auf den Nerven vorstellt, so müssen wir anerkennen, dass jedes Hinderniss, das ihr im Wege steht, indirect auch auf die Beweiskraft derjenigen Sätze, aus denen sie gefolgert wurde, wirken muss.

Bei allen Beweisen, die ich im Laufe der gegenwärtigen Untersuchung für die Summirungshypothese anführte, berücksichtigte ich namentlich die Thatsachen, welche beim Experimentiren mit der electrischen Reizung ermittelt wurden, und ignorirte alle übrigen, die nicht bei der electrischen, sondern bei allerlei anderen Reizungsformen: der mechanischen, der chemischen u. s. w. beobachtet werden. Da aber die Wirkung der letzteren Reizmittel auf den Nerven ungleich schlechter erforscht ist, als die Wirkung der electrischen Reizung, so müssen wir zugeben, dass ein derartiges Ignoriren vollkommen erlaubt ist, so lange es sich nur um die Ermittelung bestimmter theoretischer Vorstellungen handelt: jede Theorie kann sich nur auf Thatsachen begründen, die mehr oder minder vollständig untersucht sind. Haben sich aber einmal gewisse Ansichten ausgebildet, so müssen wir an sie die Forderung stellen, dass sie wenigstens in keinem Widerspruch zu diesen minder erforschten Erscheinungen stehen. Namentlich diese Forderung scheint unsere Summirungshypothese nicht zu befriedigen.

In der That kann die auf dieser Hypothese begründete Erklärung des physiologischen Electrotonus nur für den Fall der electrischen Nervenreizung gültig sein. Indessen ist es zweifellos festgestellt, dass Pflüger's Erscheinungen (die Steigerung des Effectes im Katelectrotonus- und dessen Abnahme im Anelectrotonusgebiete) ebenso entschieden auch bei der Benutzung mechanischer und chemischer Reizmittel beobachtet werden. Da es sich hier, bei der Wirkung des Reizmittels auf den Nerven, dem Anschein nach um keine Summirung electrotonischer Zweige handeln kann (das Reizmittel erregt den Nerven, ohne in ihm einen Electrotonuszustand hervorzurufen), so wäre daraus der Schluss zu ziehen, dass die Summirungshypothese, indem dieselbe diese Erscheinungen unerklärt lässt, unhaltbar ist.

Ich glaube aber, dass ein derartiger Schluss vorzeitig ist, da der Charakter der Wirkung sämmtlicher Reizmittel auf den Nerven, die electrischen ausgenommen, bis jetzt absolut unerforscht ist: alle unsere Kenntnisse über ihre Wirkung beschränken sich auf die blosse Thatsache, dass sie bei gewissen Bedingungen im Stande sind, eine Erregung hervorzurufen. Deswegen müssen wir stets im Auge behalten, dass diejenigen Widersprüche, die uns gegenwärtig unauflösbar scheinen, mit der Zeit von selbst verschwinden können, sobald sich die Frage über das

Wesen der Erregung des Nerven durch mechanische, chemische und dergleichen Einflüsse aufklären wird.

In unserem Falle befinden wir uns in einer verhältnissmässig sehr günstigen Lage, da es schon jetzt, wie ich im gegenwärtigen Capitel zeigen will, möglich ist, alle Widersprüche, in manchen Beziehungen freilich nur hypothetisch, auszusöhnen. Ich bin weit davon entfernt, zu behaupten, dass die dieser Versöhnung zu Grunde liegenden Vorstellungen richtig sind, und will hier nur bemerken, dass eine blosse Hindeutung auf die Möglichkeit einer derartigen Versöhnung schon vollkommen hinreichend ist, um den auf wohl erforschten Thatsachen begründeten Ansichten ihr gesetzmässiges Existenzrecht zu erhalten.

Die Grundlage meiner Vorstellungen bildet der Gedanke, dass die Erregung, unter welchen Bedingungen sie sich auch entwickeln mag, überall von der Entstehung eines Katelectrotonuszustandes im Nerven, von der Entstehung katelectrotonischer Stromzweige abhängt. Wie paradox auch dieser Gedanke beim ersten Anblick erscheint, so ist es doch leicht zu zeigen, dass es bei dem gegenwärtigen Zustande unserer Kenntnisse möglich ist, zu dessen Gunsten viele Beweise vorzuführen.

Bekanntlich nimmt der electrische Strom unter allen Reizmitteln eine hervorragende Stelle ein in der Hinsicht nämlich, dass nur er allein im Nerven keine oder fast keine schädliche Nachwirkung hinterlässt; alle übrigen tödten aber sehr bald diejenige Strecke, auf die sie unmittelbar wirken. Aus Hermann's classischen Untersuchungen über die Quelle der Muskel- und Nervenströme wissen wir, dass diese Organe in ihrem normalen Zustande sich electrisch unwirksam erweisen, sobald aber eine gewisse Strecke von ihnen durch diesen oder jenen Eingriff verletzt wird, entsteht sogleich ein electrischer Gegensatz zwischen der verletzten Stelle und den unveränderten Nachbarstrecken des Nerven, und zwar verhält sich die erstere negativ zu den letzteren. Der von diesem Gegensatze herrührende Strom gleicht sich innerhalb des Nerven selbst aus, indem er hier ganz ebenso circulirt, wie jeder von aussen angewandte Strom, d. h. in Form von einer ganzen Reihe electrotonischer Zweige, welche die verletzte Stelle in den Anelectrotonuszustand versetzen (hier in den Axencylinder einfliessen), die unverletzten Nachbarstrecken aber in Katelectrotonuszustand (hier dem Axencylinder entfliessen). Meiner Meinung nach erscheint es nun möglich die Erregungswirkung verschiedener Reizmittel ausschliesslich auf die electrische Reizung des Nerven durch seinen eigenen Strom zurückzuführen.

Diese Möglichkeit ist besonders ersichtlich für einige Arten von mechanischer Reizung.

Ziehen wir z. B. die Verhältnisse in Betracht, die bei der Reizung

des Nerven durch einen Schnitt entstehen. Im Momente des Schnittes wird der Nervenstrom in seiner vollen Kraft fast plötzlich entwickelt, so dass die an den Durchschnitt angrenzenden Nerventheile in den Katelectrotonuszustand versetzt werden und sich genau in den nämlichen Verhältnissen befinden, wie die der Kathode des reizenden Stromes im Momente seiner Schliessung anliegende Nervenstrecke. Dementsprechend sehen wir nun, dass der Schnitteffect in Form einer ebenso einfachen Muskelzuckung zum Vorschein kommt, welche auch bei der gewöhnlichen Stromschliessung beobachtet wird.

Es kann aber die Frage entstehen, ob der Nervenstrom fähig ist, einen so starken Electrotonuszustand hervorzurufen, dass wir berechtigt wären, die im Schnittmomente entstehende Erregung seiner Wirkung zuzuschreiben? Diese Frage kann ich mit den folgenden Worten von Hermann beantworten: „Es ist also gar nicht zu bezweifeln, dass unmittelbar an einem künstlichen Querschnitt ein enorm starker Katelectrotonus herrscht, wahrscheinlich stärker als wir ihn jemals durch künstliche Durchströmung des Nerven hervorbringen können [1]).

Vielleicht wirkt aber der Katelectrotonuszustand nur dann erregend, wenn er als das Resultat eines von aussen angewandten Stromes entsteht, dagegen unter dem Einflusse seines eigenen Stromes kann der Nerv nicht erregt werden? Die Antwort auf diese Frage finden wir hinwiederum in den Untersuchungen von Hering, der sowohl für den Muskel [2]), als auch für den Nerven [3]) eine grosse Anzahl von Fällen festgestellt hat, wo die Erregung der bezeichneten Organe zweifellos von ihrem eigenen Strome abhängt.

Also ist es uns in Bezug auf den Fall des Durchschneidens genau bekannt, dass hier die nämlichen galvanischen Erscheinungen herrschen, die im Momente des Durchfliessens eines sehr starken Stromes im Nerven statthaben. Da wir nun beim Durchschneiden die einzelne Muskelzuckung erhalten, so müssen wir folglich anerkennen, dass es zur Erklärung dieses Effectes gar nicht Noth thut, die Existenz irgend einer specifischen mechanischen Reizwirkung vorauszusetzen: der Effect in seinem vollen Umfange kann durch die electrische Erregung des Nerven unter dem Einflusse seines eigenen Stromes erklärt werden.

Das in Bezug auf den Durchschnitt Gesagte gilt allerdings auch bei der Reizung des Nerven durch Ligatur, Kniffe, Schläge und überhaupt durch allerlei grobe mechanische Eingriffe, welche die ihrer Wirkung

---

[1]) Hermann, Pflüger's Arch. XXX. 1883. S. 14.
[2]) Hering, Wiener Sitzungsber. Bd. LXXIX. III. Abth. 1879.
[3]) Hering, Wiener Sitzungsber. Bd. LXXXV. III. Abth. 1882.

ausgesetzte Nervenstrecke plötzlich tödten und die Entstehung des Nervenstromes in seiner vollen Kraft befördern müssen.

Gehen wir nun zur Erörterung der Fälle über, wo die Nervenerregung von minder groben mechanischen Einflüssen bedingt wird [wie z. B. bei der Reizung durch den Tetanomotor von Heidenhain [1]) oder durch Apparate, die zu diesem Zwecke von den späteren Forschern construirt wurden [2])], so müssen wir anerkennen, dass hier der Zusammenhang zwischen der Nervenerregung und der Entstehung des Nervenstromes nicht mit der nämlichen Klarheit dargestellt werden kann. Da wir bei allen angeführten Reizungsmethoden die nämliche Nervenstrecke mehrmals nacheinander in einen Erregungszustand versetzen können, müssen wir anerkennen, dass dabei keine vollständige Tödtung stattfindet, folglich keine Bedingungen zur Entwickelung des Nervenstromes in seiner vollen Kraft existiren. In Rücksicht aber darauf, dass diese Reizungsmethoden sich für den Nerven nicht ganz unschädlich erweisen, sondern bei einer öfteren Wiederholung schliesslich ein vollständiges Absterben der ihrer Wirkung ausgesetzten Strecke bewirken [3]), sind wir gezwungen anzunehmen, dass auch hier jede einzelne Reizung eine mehr oder minder bedeutende Nervenverletzung herbeiführt. Existirt aber diese Verletzung, so muss zugleich auch ein Nervenstrom entstehen, wenn auch ein schwächerer als derjenige, der sich bei voller Nerventödtung entwickelt. Wenn im letzteren Falle, nach Hermann's Meinung, ein enorm starker Electrotonuszustand entsteht, so ist es für die Erklärung der in Rede stehenden Reizungsfälle vollkommen genügend, hier einen viel schwächeren Katelectrotonuszustand zuzulassen. Zu unserem Bedauern enthält die physiologische Literatur bis jetzt keine einzige Untersuchung, die auf die Aufklärung der sich im Nerven unter dem Einflusse schwacher mechanischer Reizungen entwickelnden galvanischen Erscheinungen gerichtet wäre.

Gehen wir zu den Fällen der chemischen Reizung über, so begegnen wir auch hier den nämlichen Verhältnissen: bei chemischer Reizung wird die Reizstelle des Nerven getödtet, d. h. die der getödteten Stelle benachbarten lebendigen Nerventheile werden in einen starken Katelectrotonuszustand versetzt.

Zwar sind uns einige auszuschliessende Fälle bekannt, wo chemische Agentien eine Erregung hervorzurufen vermögen, ohne zugleich die der Reizung ausgesetzte Strecke zu tödten [4]). Aber auch hier können wir

---

[1]) Heidenhain, Physiologische Studien. Berlin. 1856.

[2]) Tigerstedt, Studien über mechanische Nervenreizung. Helsingfors. 1880 und Hällst'en, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1881.

[3]) Vergl. Bilharz u. Nasse, Arch. f. Anat. und Physiol. 1862. S. 75.

[4]) Hermann, Handb. d. Physiol. Bd. II. Th. I. S. 105.

das Vorhandensein des Nervenstromes vermuthen. Diese Vermuthung ist sehr wahrscheinlich, besonders jetzt, nachdem es, wenigstens für den Muskel, von Biedermann zweifellos festgestellt ist[1]), dass gewisse chemische Einflüsse Veränderungen der Muskelsubstanz hervorzurufen vermögen, die für die Entstehung des Stromes vollkommen hinreichen und das Organ dennoch am Leben lassen.

Das Zurückführen der chemischen Reizung auf die electrische, dem gegenwärtig keine bekannte Thatsache widerspricht, stellt meiner Meinung nach einen grossen Vorzug in der Hinsicht nämlich dar, dass sich dabei die Möglichkeit eröffnet, zukünftig das ganze bunte Erscheinungsbild aufzuklären, welches bekanntlich bei der Wirkung verschiedener chemischer Reizmittel auf den Nerven beobachtet wird. Während die einen den Nerven plötzlich tödten und somit den Nervenstrom in seiner vollen Kraft fast momentan entwickeln, bewirken die anderen den Tod des Nerven nur allmälig. Zudem werden, wenn an der Reizstelle selbst der Nerv im Absterben begriffen ist, in den Nachbarstrecken minder schroffe Veränderungen vorhanden sein, die je nach den Eigenschaften des Reizmittels entweder in der Form einer Steigerung oder einer Abnahme der Erregbarkeit zum Vorschein kommen können. Fügen wir noch hinzu, dass chemische Reizmittel, schon ihrer Natur nach, nicht auf ein Mal auf alle Fasern, die den Bestand des gegebenen Nerven bilden, zu wirken vermögen, sondern sie erst in einer Folgereihe erregen, wobei in jeder einzelnen Faser die von ihnen erzeugten Veränderungen sich allmälig immer weiter und weiter verbreiten müssen, — so erhalten wir augenscheinlich eine genügende Anzahl von Anhaltspunkten zur Erklärung aller möglichen Erscheinungen, die bei der chemischen Reizung beobachtet werden.

Von den gewöhnlichen Einflüssen, die auf den Nerven erregend wirken, muss noch der Einfluss der hohen Temperatur und derjenige der Vertrocknung erwähnt werden.

Ob die Temperatur in den Grenzen des Nichtertödtens zu erregen vermag, das bleibt eine unentschiedene Frage[2]). Aber jede übermässige Erhöhung der Temperatur, die das Absterben einer gewissen Strecke verursacht, wird gewöhnlich von einer Erregung begleitet, was sich von unserem Standpunkte wohl begreifen lässt, da das Absterben die Entwickelung des Nervenstromes in seiner vollen Kraft bedingt.

Was die Vertrocknung anbelangt, so ist dieser Zustand bekanntlich fähig, eine starke Erregung hervorzurufen. Ob dabei ein Nervenstrom

---

[1]) Biedermann, Wiener Sitzungsberichte. Bd. LXXXI. III. Abth. 1880. S. 88—92.

[2]) Vergl. Hermann, Handb. d. Physiol. Bd. II. Th. I. S. 93.

entsteht, das bleibt bis jetzt, wegen Mangel an Untersuchungen, noch unerörtert. In Rücksicht aber darauf, dass bei der Vertrocknung der Nerv rasch abstirbt, muss man vermuthen, dass sich auch hier der Nervenstrom entwickelt.

Somit kommen wir zu dem Schlusse, dass es keinen einzigen Erregungsfall giebt, wo das Vorhandensein des Nervenstromes nicht zu vermuthen wäre, in den meisten Fällen aber ist es zweifellos festgestellt, dass die Erregung und der Nervenstrom gleichzeitig existiren. In Folge dessen verliert die von uns geäusserte Vermuthung, dass mechanische, chemische u. s. w. Reizmittel nur insoweit den Nerven erregen, als sie in ihm den Katelectrotonuszustand erzeugen, ersichtlich einen bedeutenden Theil ihres Paradoxen. Und das muss sich noch mehr vermindern, wenn wir Folgendes in Betracht ziehen.

Auf Grund der Thatsache, dass der Nerv fähig ist, in einen Erregungszustand unter dem Einflusse der verschiedenartigsten Ursachen zu gerathen, — wird es logisch nothwendig, vorauszusetzen, dass alle diese Ursachen unter einander etwas Gemeines haben, was ihnen auch erlaubt auf den Nerven in ganz gleicher Weise zu wirken. Unser Standpunkt genügt nämlich dieser logischen Forderung, indem er darauf hindeutet, dass alle Reizmittel fähig sind, im Nerven einen Katelectrotonuszustand zu erzeugen.

Endlich müssen wir uns von der vollständigen Gesetzmässigkeit der von uns entwickelten Ansicht überzeugen, wenn wir darauf Rücksicht nehmen, dass es in der Literatur schon Versuche giebt den Nervenstrom, obgleich auch nicht genau in der nämlichen Richtung zu gebrauchen, wie wir es thaten, doch jedenfalls in einer sehr analogen. Ich verstehe darunter die bekannte Hypothese, die Hermann über das Wesen des Verbreitungsprocesses der Erregung im Nerven aufgestellt hat[1]). Auf Grund der Thatsache, dass zwischen einer erregten und einer unerregten Nervenstrecke genau dieselben Verhältnisse existiren, wie sie zwischen einer verletzten und einer unverletzten beobachtet werden, zieht Hermann den nothwendig daraus folgenden Schluss, dass jede Erregung einer gewissen Nervenstrecke unvermeidlich von einer Entstehung solcher Ströme begleitet werden muss, die die benachbarten Strecken in einen Katelectrotonuszustand und die Erregungsstelle selbst in einen Anelectrotonuszustand versetzen. Indem die erregte Strecke unter dem Einflusse des Anelectrotonuszustandes zur Ruhe kommt, ruft der Katelectrotonuszustand, der sich in den benachbarten Strecken entwickelt hat, in ihnen den Erregungsprocess hervor. In den Erregungszustand gekommen, wirken diese Strecken weiter auf die benachbarten unerregten, d. h.

[1]) Hermann, Handb. d. Physiol. Bd. II. Th. I. S. 194.

indem sie die weitere Verbreitung der Erregung über den Nerven befördern, kommen sie selbst zur Ruhe. Folglich lässt sich der Process der Erregungsübertragung von einem Nerventheile auf den anderen oder, anders ausgedrückt, die natürliche Nervenerregung auf die Erregung durch den Katelectrotonus zurückführen. So weit geht Hermann in seinen Betrachtungen.

Wenn wir aber das Recht haben, wie es Hermann thut, den electrischen Gegensatz der erregten und der unerregten Nervenstrecken als die Ursache der Erregung der letzteren zu betrachten, so ist es klar, dass wir ein ebenso gesetzmässiges Recht haben, dem electrischen Gegensatze zwischen der verletzten und der unverletzten Strecke eine Erregungsbedeutung zuzuschreiben.

Oben angeführte Betrachtungen konnten, glaube ich, den Leser überzeugen, dass es wirklich möglich ist, die bekannte Thatsache, dass Pflüger's Erscheinungen des Electrotonus auch bei der Benutzung der chemischen und mechanischen Reizung beobachtet werden, auf eine vollkommen befriedigende Weise zu erklären: lassen sich alle Arten von Reizung auf die Reizung durch die katelectrotonischen Zweige des Nervenstromes zurückführen, so existiren auch hier für die Summirung die nämlichen Bedingungen, wie bei der Benutzung von electrischen Reizmitteln. Zugleich können (wenigstens vorläufig, bis weitere Forschungen hinzukommen) die Hindernisse, die den im Laufe der gegenwärtigen Untersuchung entwickelten Ansichten im Wege standen, für beseitigt betrachtet werden. Es wird sogar möglich, zu zeigen, dass diese Ansichten dadurch noch eine bedeutend grössere Allgemeinheit erhalten.

Halten wir uns an den im gegenwärtigen Capitel entwickelten Standpunkt, so bekommen wir erstens die Möglichkeit auf das gesammte Erscheinungsgebiet der Nervenreizung diejenigen drei Sätze (s. S. 228) zu verbreiten, die wir unserer Erklärung der Hauptseiten der Stromwirkung auf den Nerven zu Grunde gelegt haben. Dazu genügt es, nur den ersten von den bezeichneten Sätzen folgendermassen darzustellen:

Jedes Agens ist nur insoweit zu erregen fähig, als es im Nerven den Katelectrotonuszustand hervorruft.

Zweitens, nehmen wir Hermann's Hypothese über die natürliche Nervenerregung an, so erhalten wir die Möglichkeit, diejenigen von den allgemeinsten Nerveneigenschaften, zu deren Aufklärung es bisher keine Anhaltspunkte gab, gewissermaassen zu begreifen.

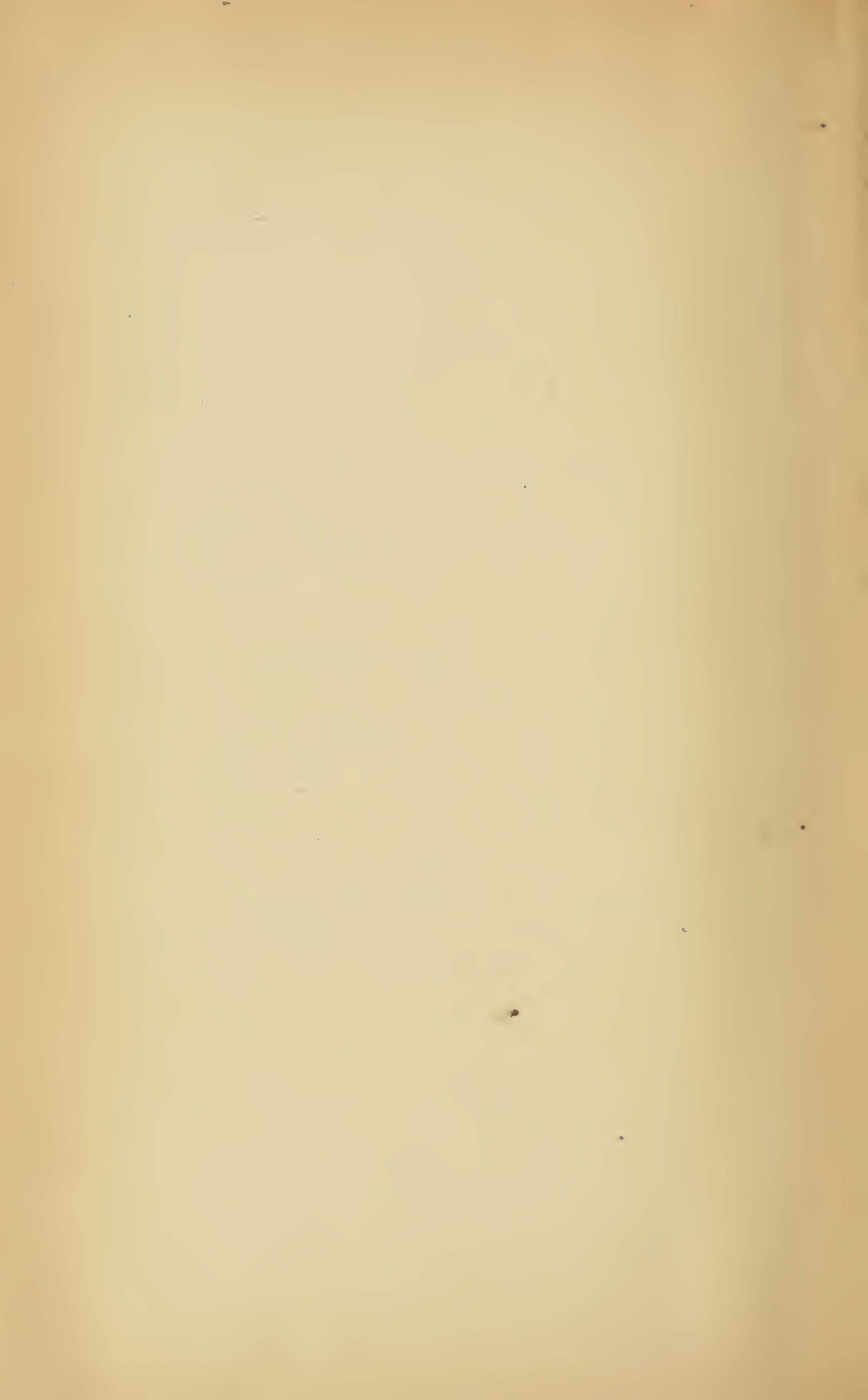
Die ausserordentliche Leichtigkeit, mit welcher der Nerv in einen erregten Zustand kommt, hat die Physiologen schon seit langer Zeit auf den Gedanken gebracht, es müssen im Nerven unter anderen Bestandtheilen gewisse, äusserst leicht veränderliche (explosive) Substanzen anwesend sein, die sich schon unter dem Einflusse der nichtigsten Impulse

auflösen und ihre Energie befreien. Es blieb dabei aber unbegreiflich, warum das einmal begonnene Auflösen nicht ununterbrochen fortdauert und nicht zu einer vollständigen Erschöpfung des ganzen Vorraths der im Nerven enthaltenen Energie führt. Namentlich um dieses aufzuklären, kann nun der von uns vorausgesetzte Zusammenhang zwischen der Erregung und dem Katelectrotonuszustande benutzt werden: die Eigenschaft des Katelectrotonus nicht nur zu erregen, sondern auch die Erregbarkeit zu vermindern, muss jeder Erregung genau ebenso Schranken setzen, wie sie es für die bei der Stromschliessung entstehende Erregung thut. Das nämliche lässt sich auch so ausdrücken, dass jede Erregung, indem sie von einem ihrer Kraft entsprechenden Katelectrotonuszustande begleitet wird, schon ihrer Natur nach Bedingungen zum Aufhören enthält. Ist aber die Erregung einmal zu Ende gekommen, so müssen sogleich Wiederherstellungsprocesse beginnen, die den Nerven wieder zur weiteren Thätigkeit fähig machen: der Katelectrotonuszustand wird nach Hermann durch den Anelectrotonuszustand ersetzt und der letztere ist, wie wir schon wissen, fähig, die im Nerven durch den Katelectrotonus erzeugten Veränderungen auszugleichen.

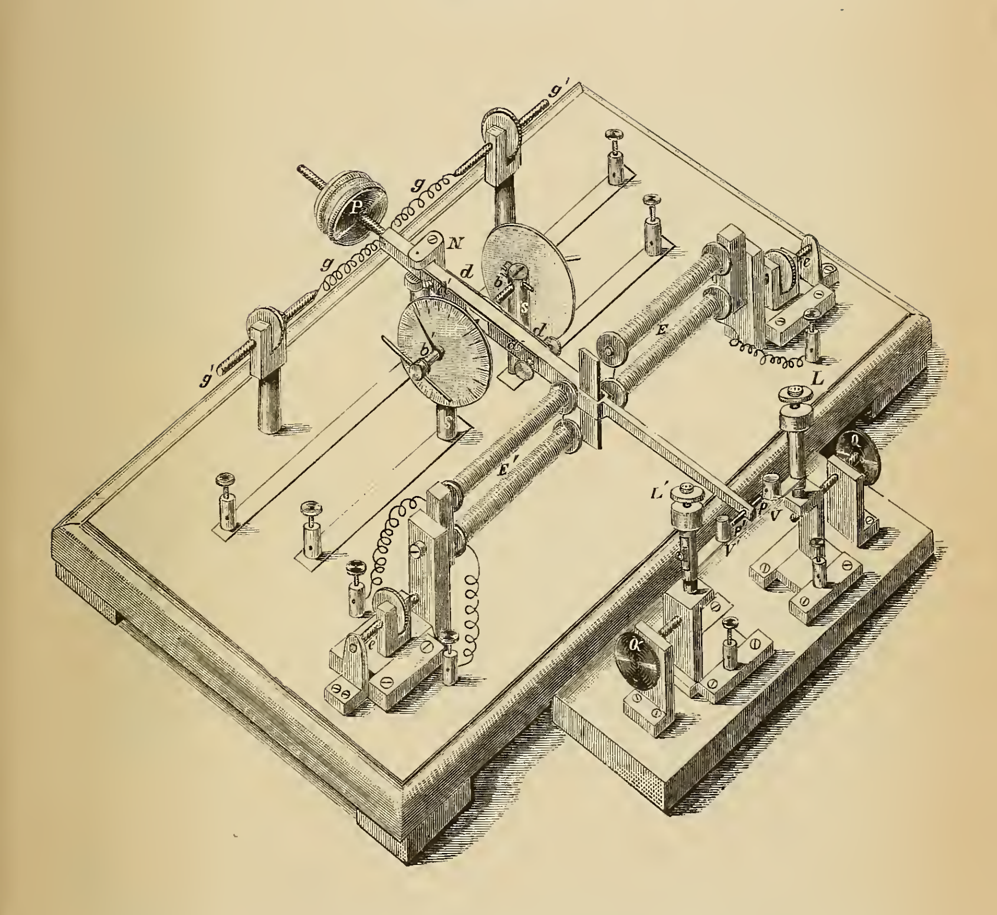
Zu den bekannten allgemeinen Nerveneigenschaften gehört noch die Fähigkeit, auf die von aussen kommenden Einflüsse nur dann zu reagiren, wenn sie mehr oder minder plötzlich wirken, sonst können selbst die stärksten Einflüsse ohne Effect bleiben. Auf diese Weise lässt sich das Gesetz von du Bois-Reymond gewissermaassen auch auf das gesammte Gebiet der Erregungserscheinungen anwenden. — Von unserem Standpunkte aus ist dies sehr leicht zu begreifen: wenn jede Erregung von electrischen Ursachen herrührt, so muss auf sie auch das Gesetz der electrischen Nervenerregung anwendbar sein.

Mit einem Worte: der Gedanke, dass der Nerventhätigkeit electrische Processe zu Grunde liegen, kann sich in vielen Beziehungen als ergiebig erweisen. Für seine weitere Begründung sind aber noch viele Versuche nöthig.

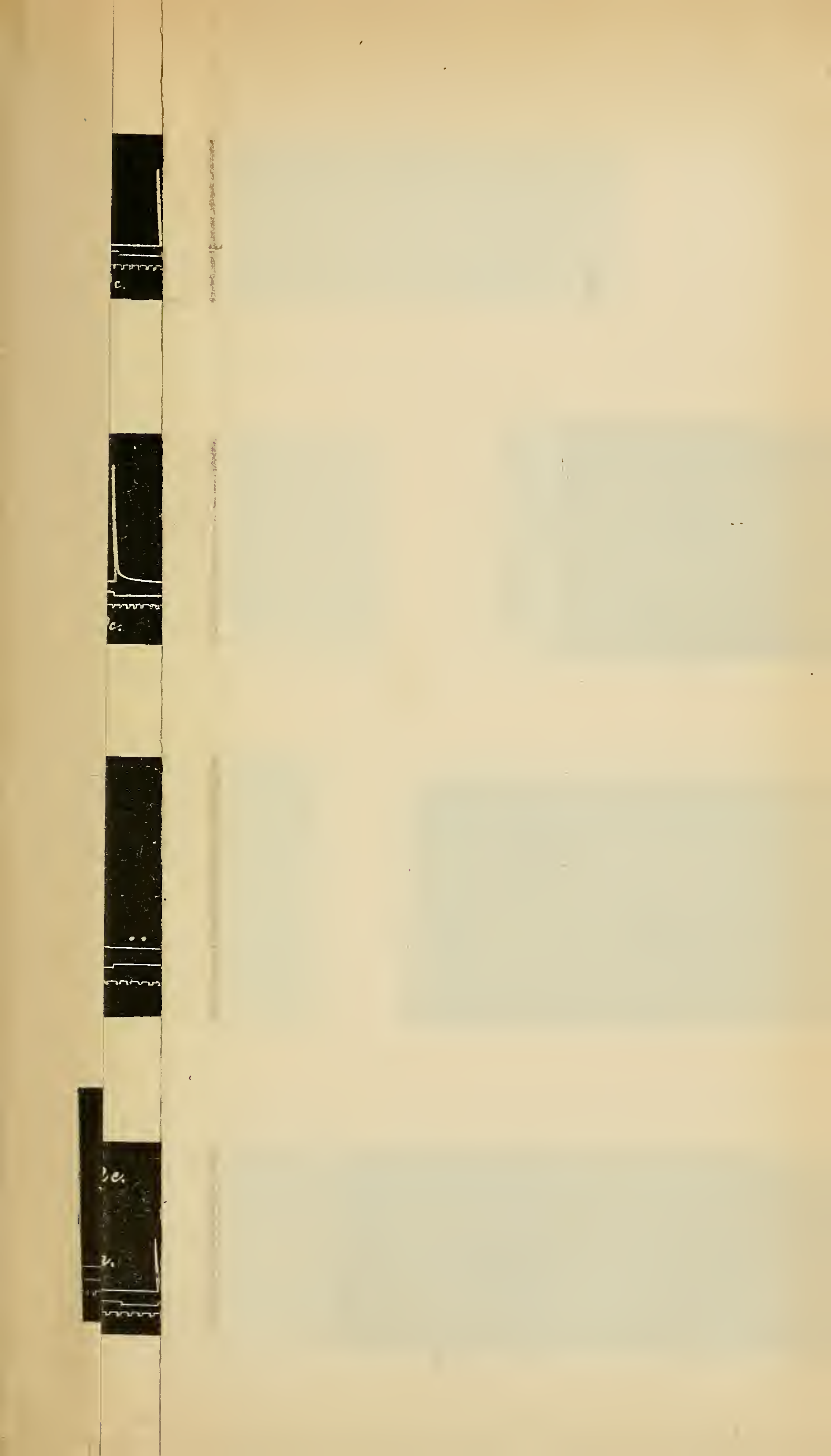
Gedruckt bei L. Schumacher in Berlin.



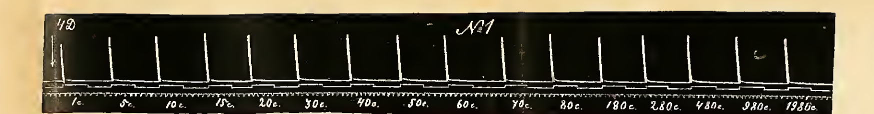
Tafel I.

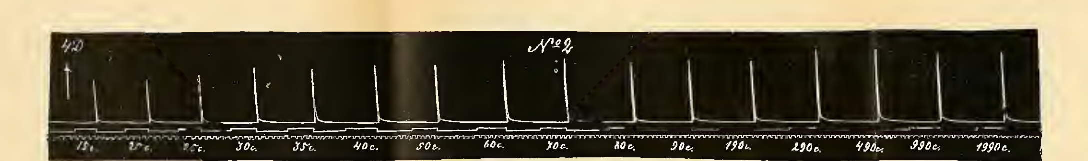


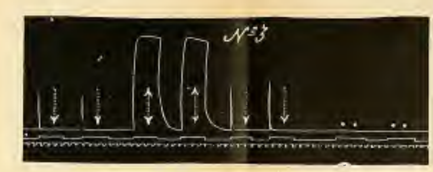


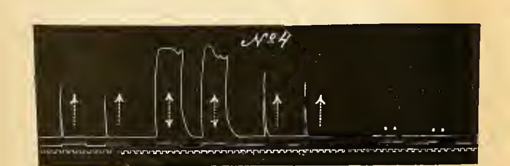


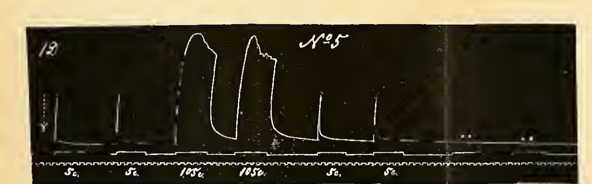
Tafel II.

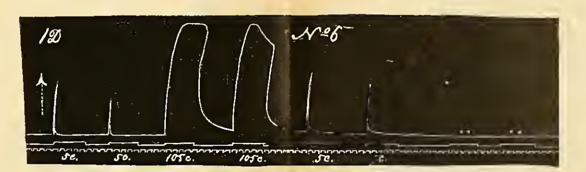

4D
№ 1
1c. 5c. 10c. 15c. 20c. 30c. 40c. 50c. 60c. 70c. 80c. 180c. 280c. 480c. 980c. 1980c.

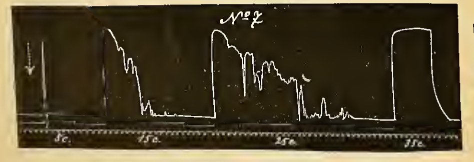

4D
№ 2
30c. 35c. 40c. 50c. 60c. 70c. 80c. 90c. 190c. 290c. 490c. 990c. 1990c.

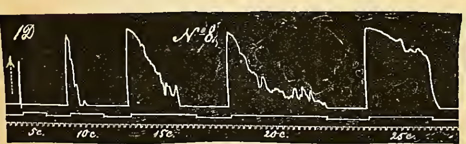

№ 3

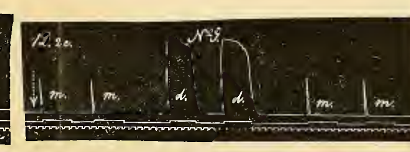

№ 4


1D
№ 5
5c. 5c. 105c. 105c. 5c. 5c.

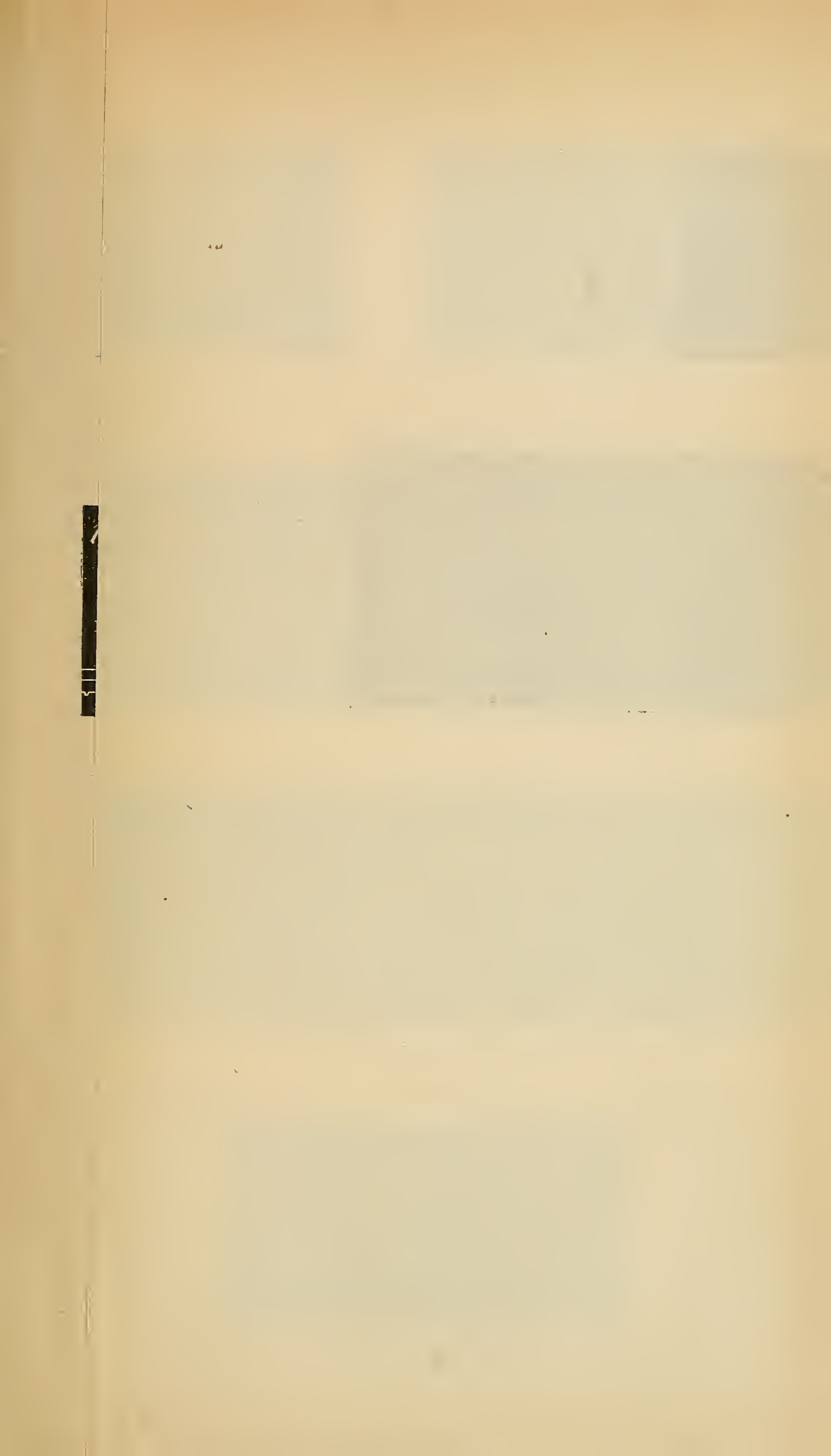

1D
№ 6
5c. 5c. 105c. 105c. 5c.


№ 7
8c. 15c. 25c. 35c.

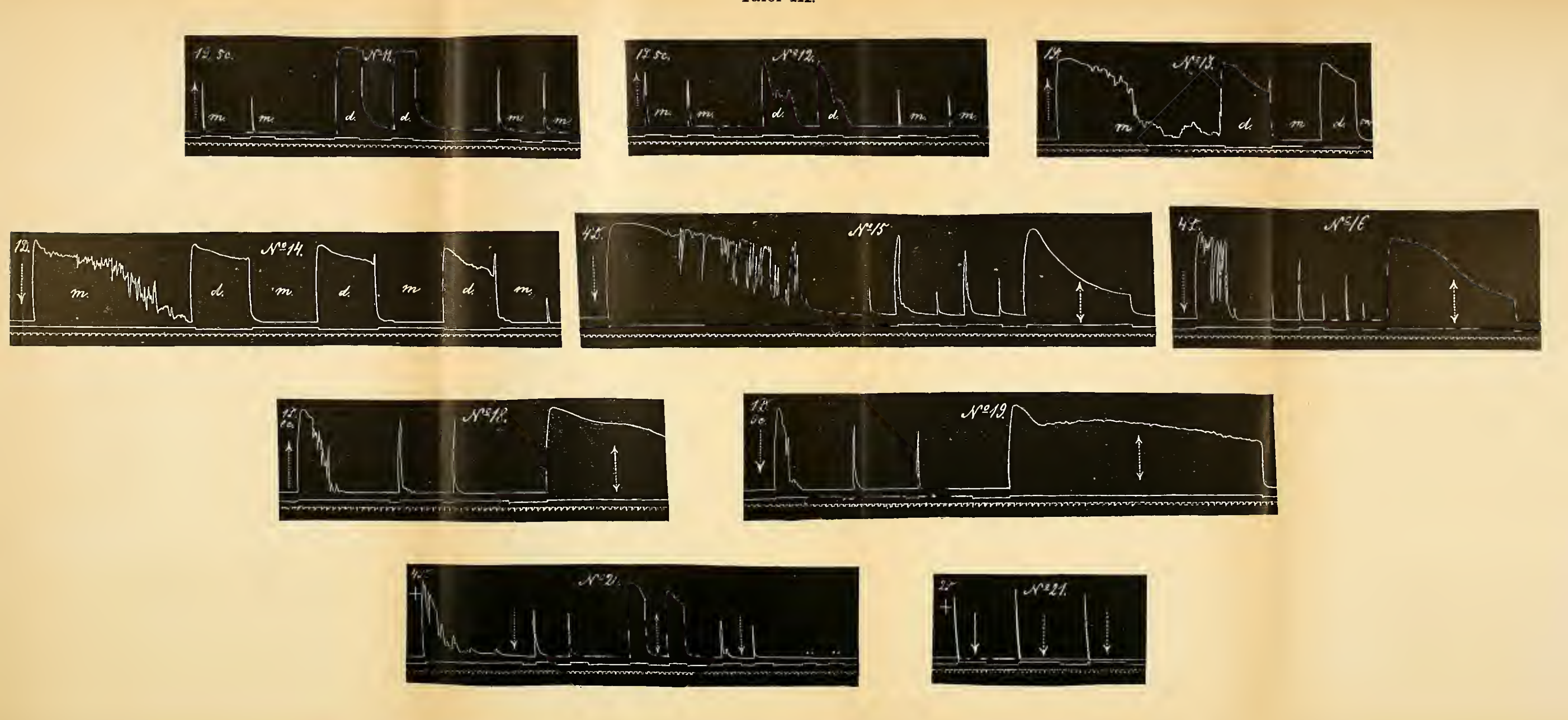

1D
№ 8
5c. 10c. 15c. 20c. 25c.

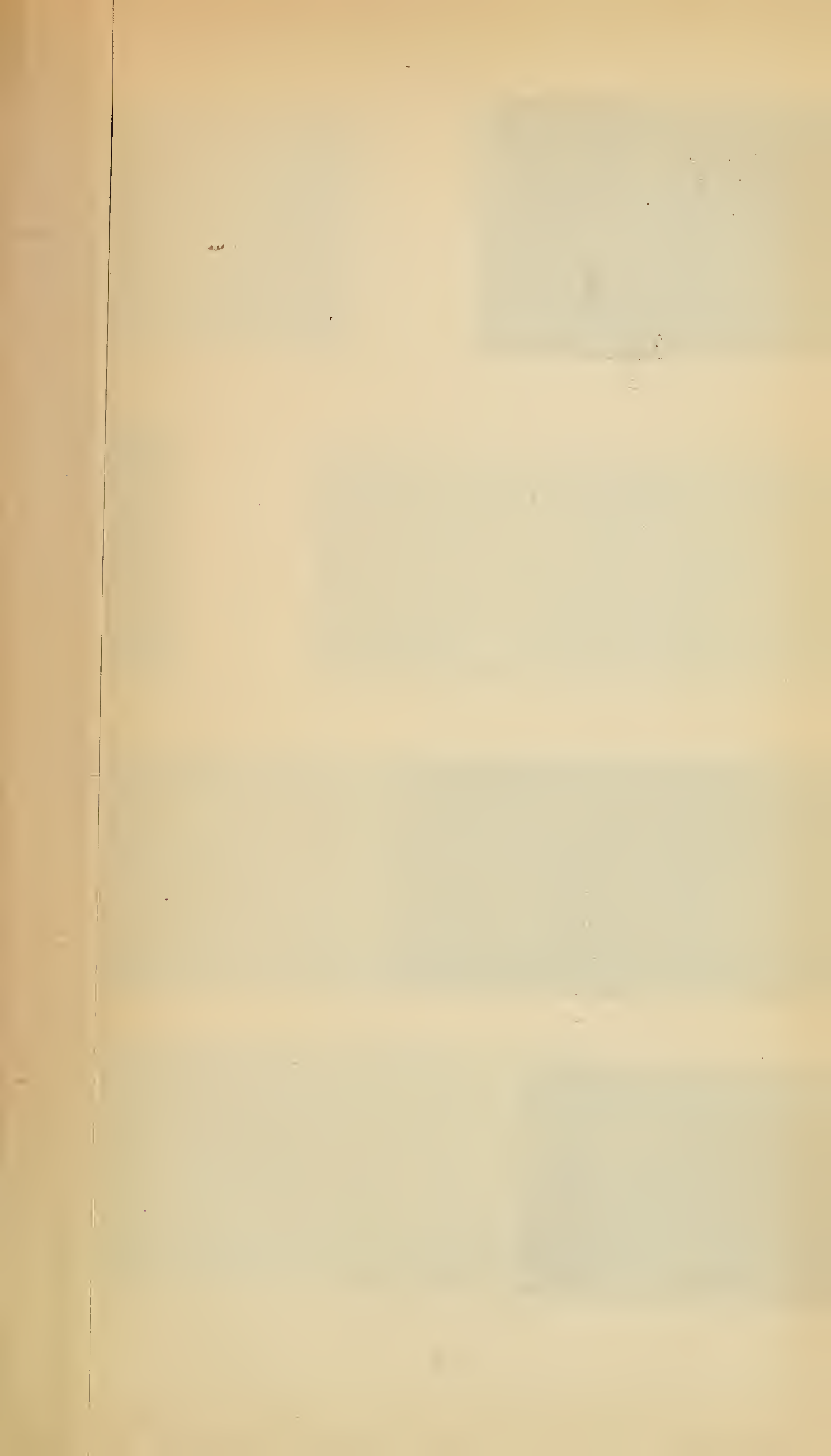

m. m. d. d. m. m.


m m d m m

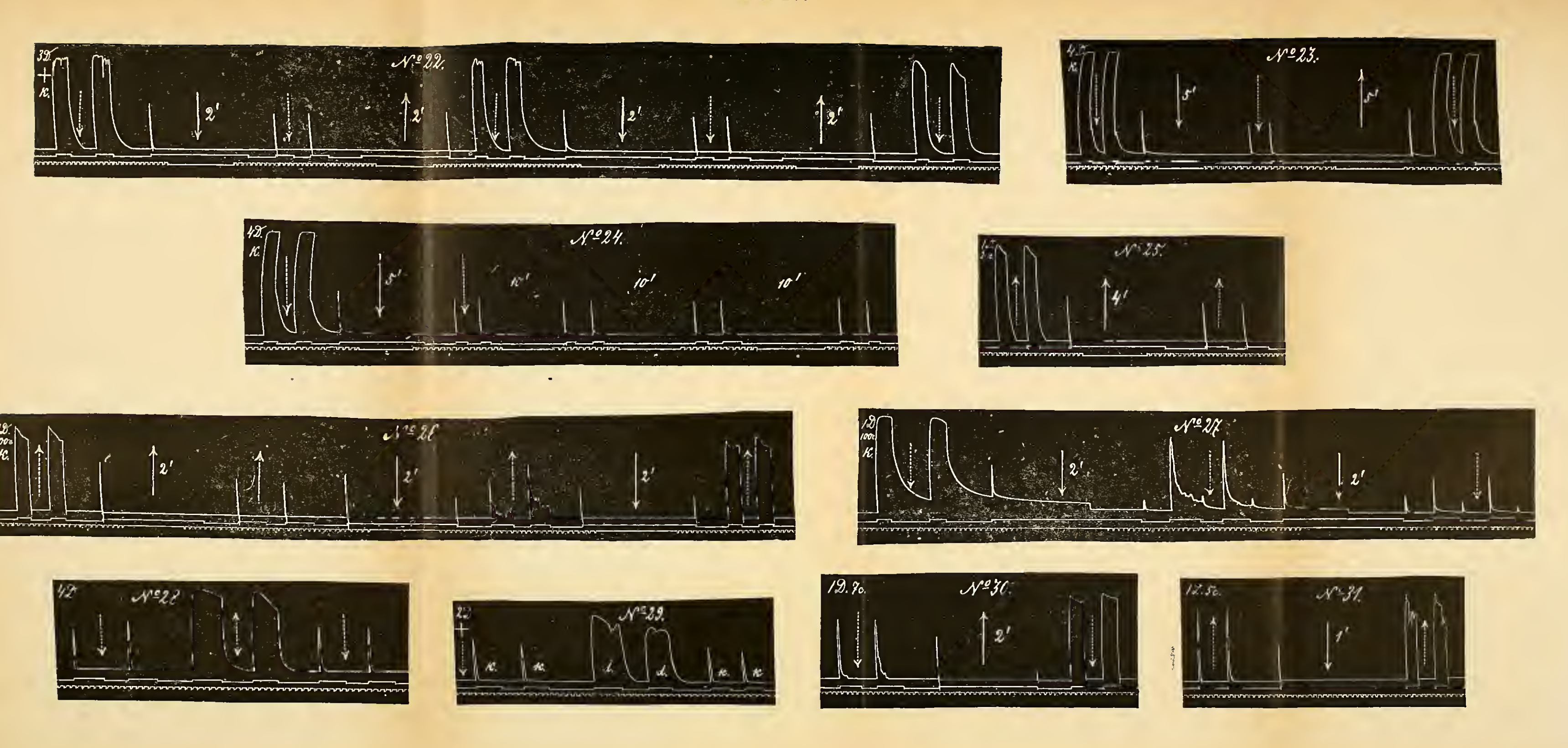


Tafel III.

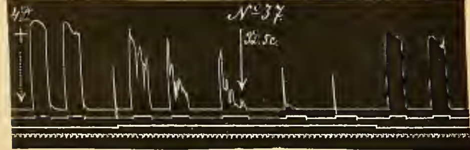




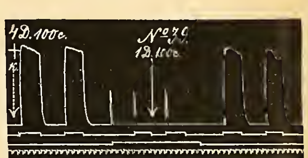
Tafel IV.



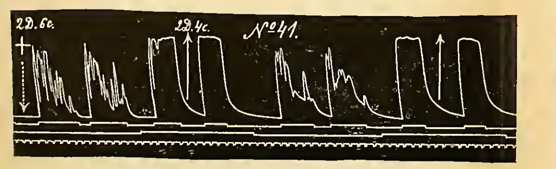
Tafel V.

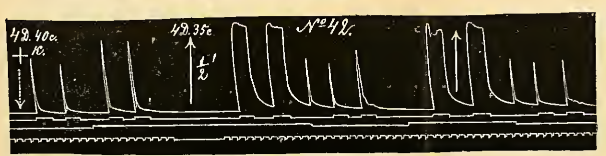


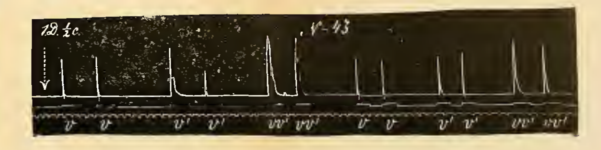


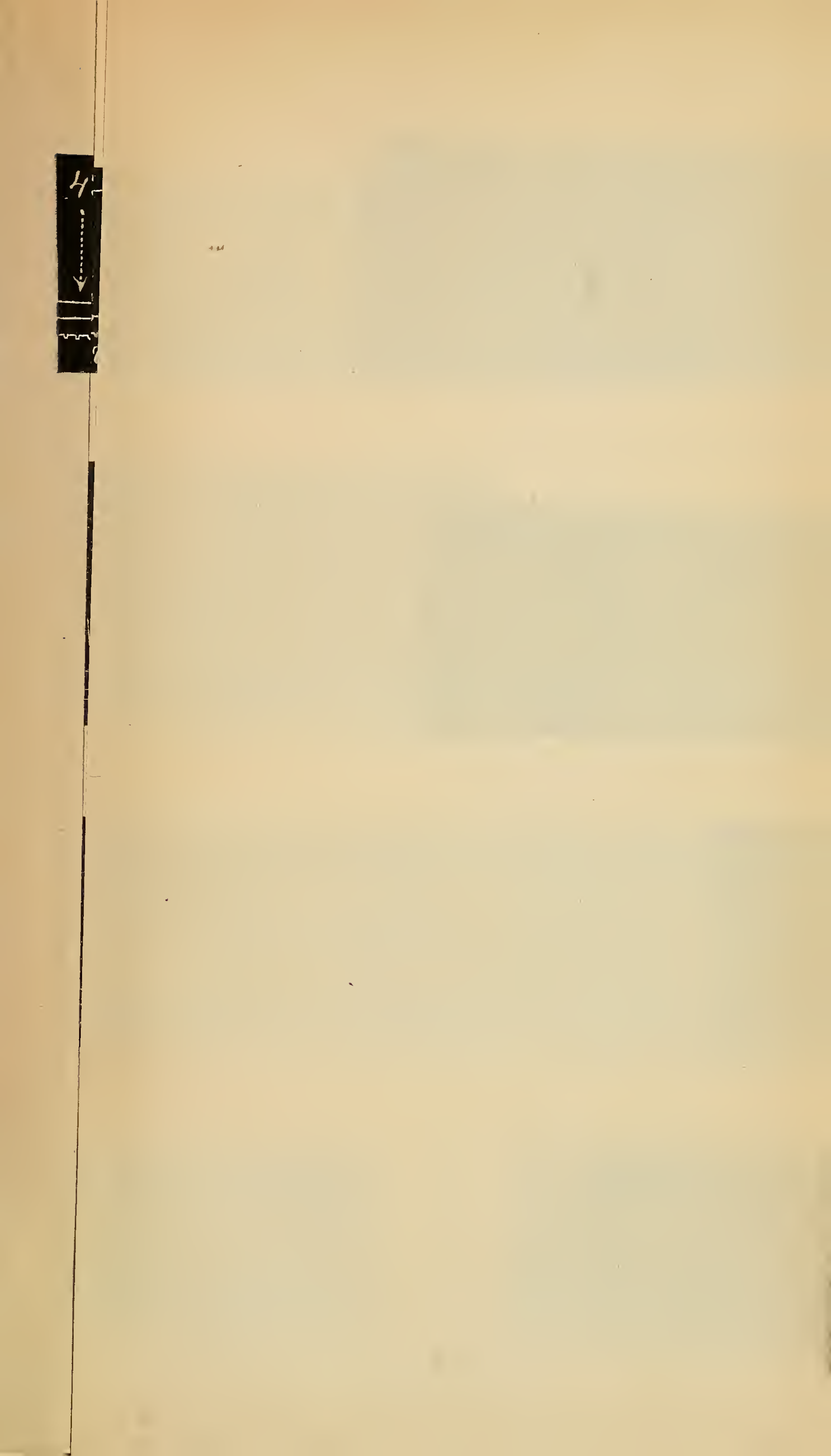


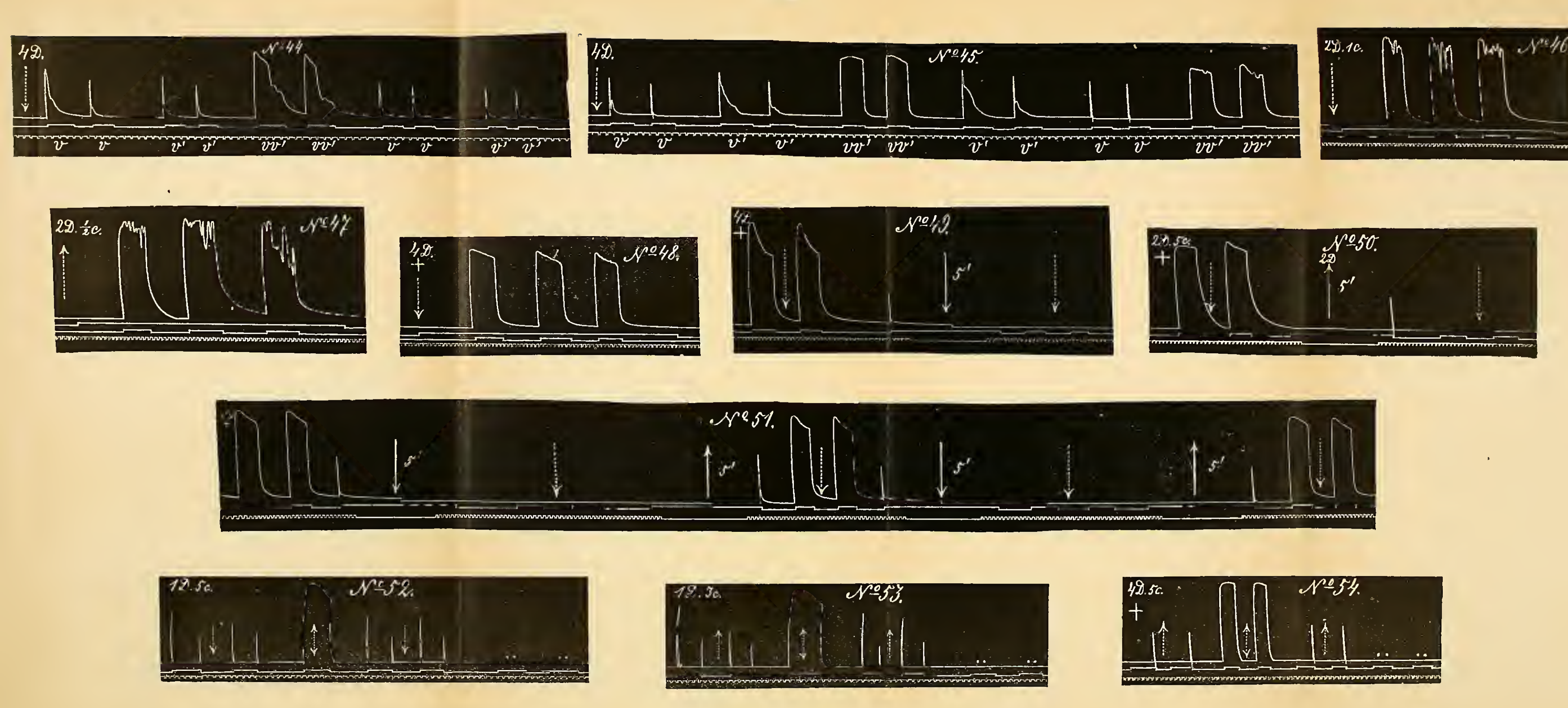




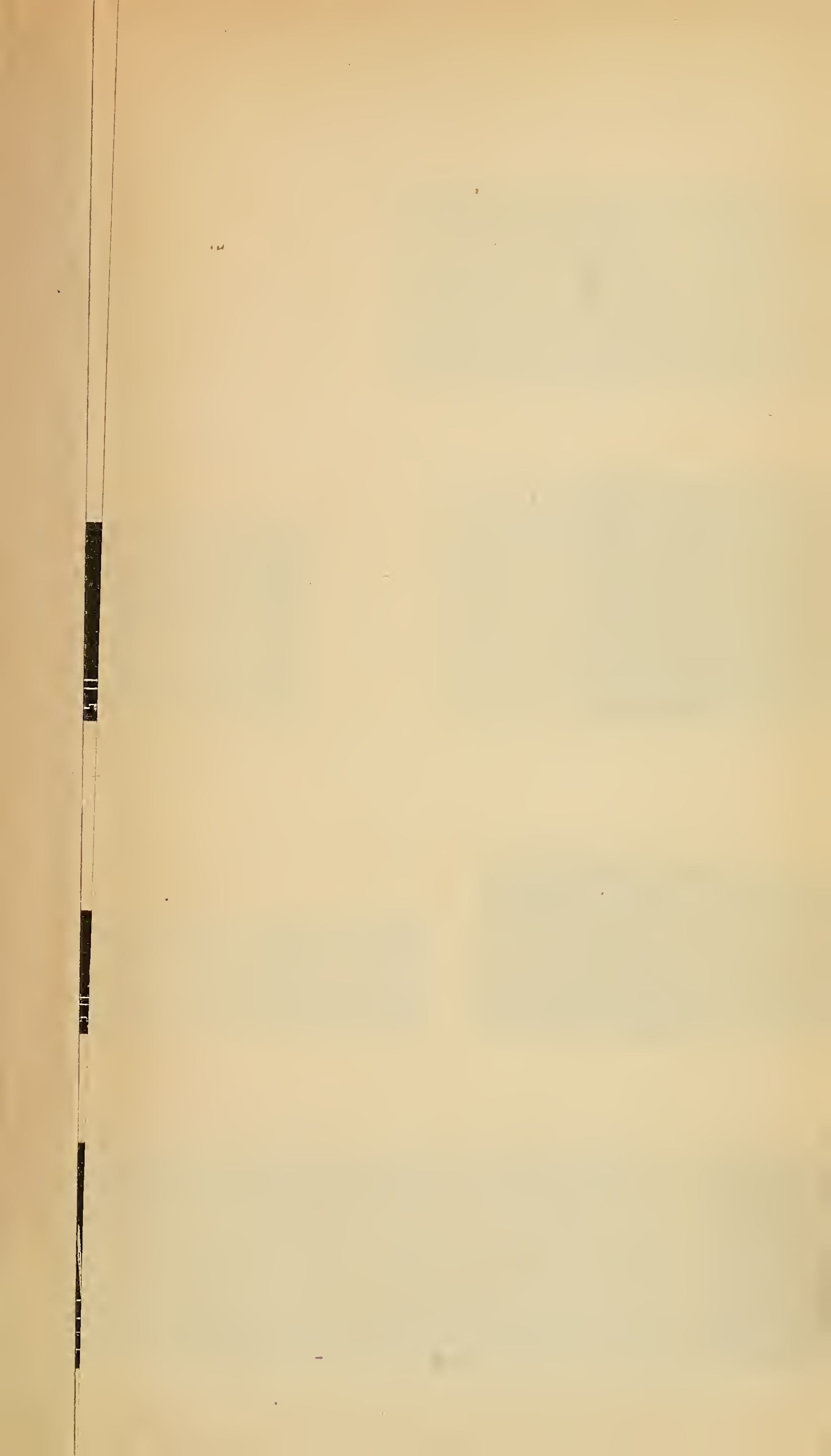




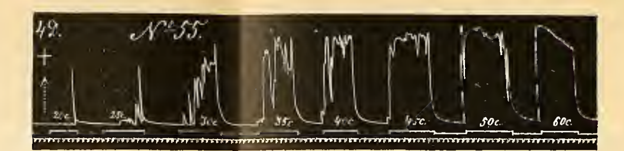




4D.
No 44
v v v' v' vv' vv' v v v' v'
4D.
No 45.
v v v' v' vv' vv' v' v' v v vv' vv'
2D. 1c.
No 46.
2D. ½c.
No 47
4D.
No 48.
No 49.
5'
2D. 5c.
No 50.
2D
5'
No 51.
5'
5'
5'
1D. 5c.
No 52.
1D. 5c.
No 53.
4D. 5c.
No 54.



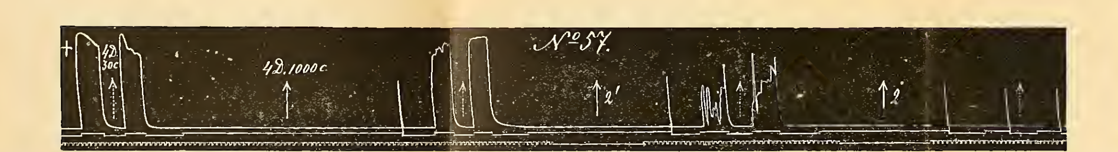
Tafel VII.



Nº 55.
50c.
60c.



70c



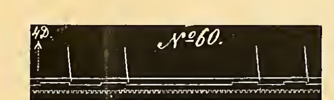
Nº 57.
4D. 1000c



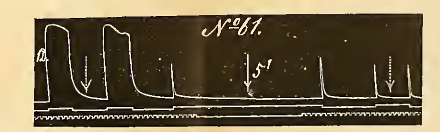
Nº 58.



Nº 59.



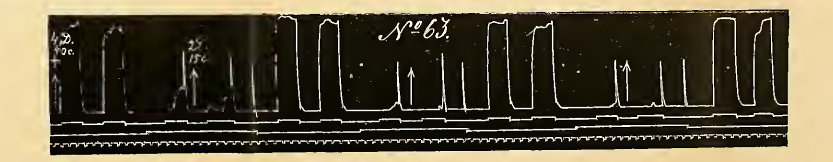
4D.
Nº 60.



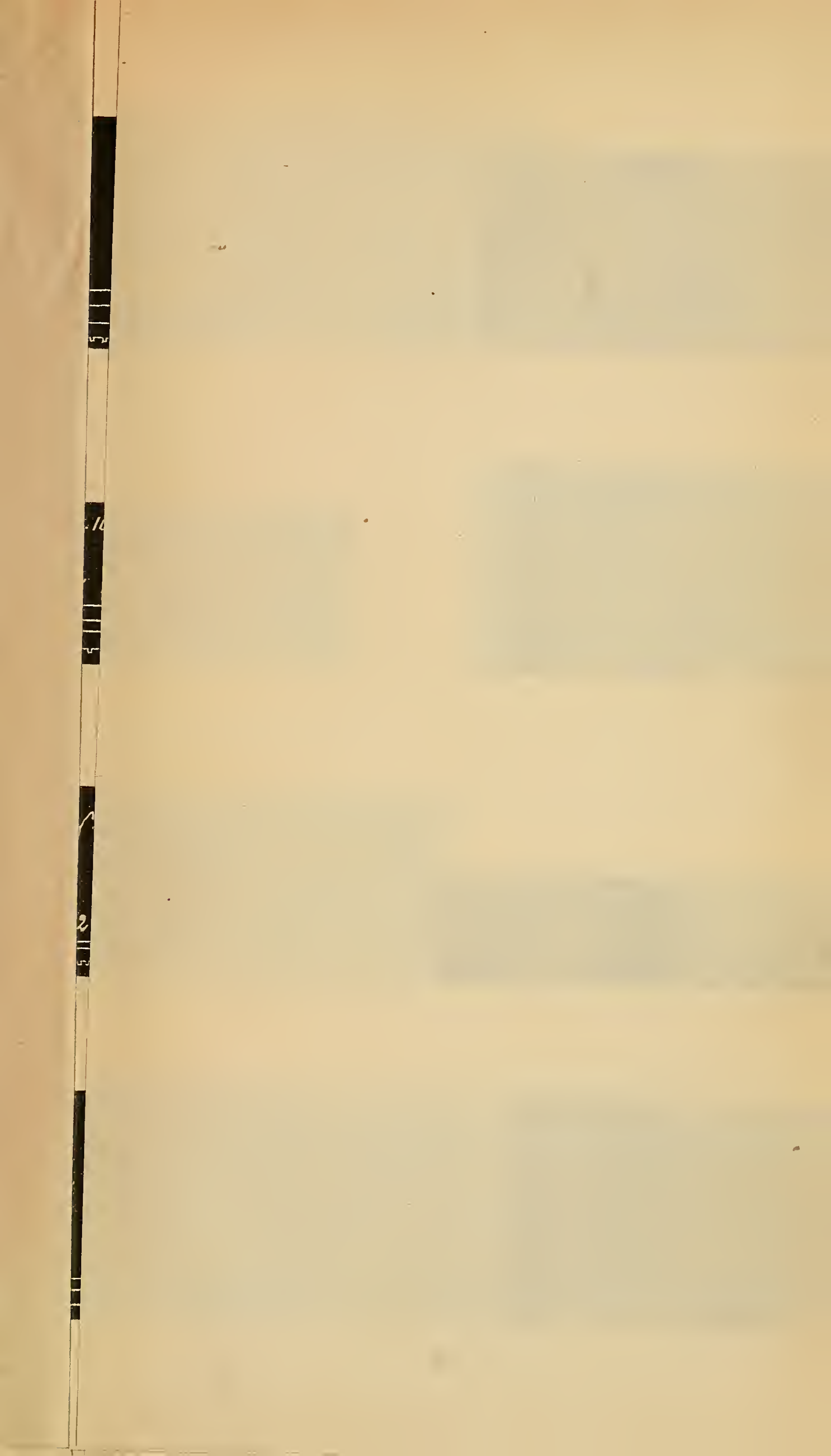
Nº 61.

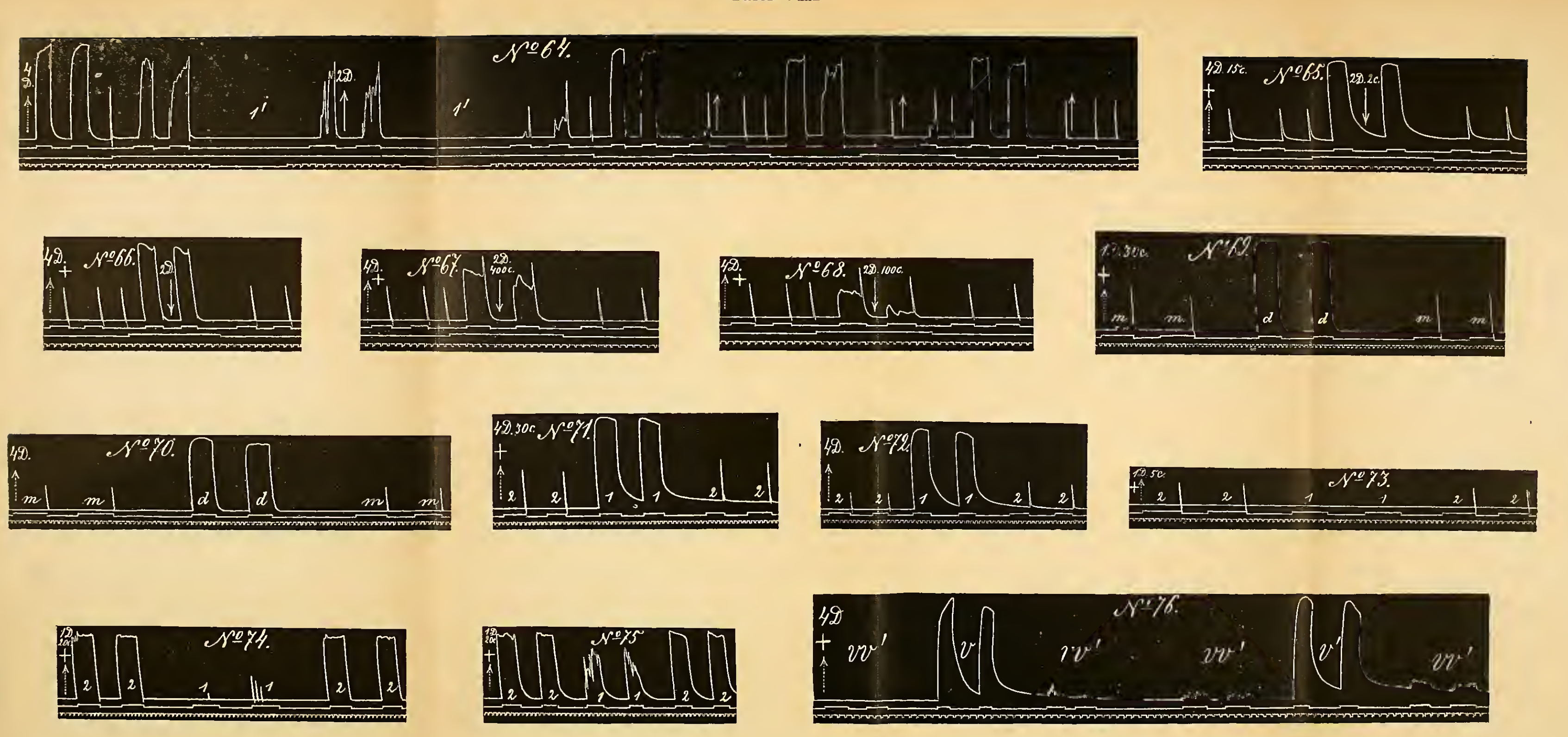


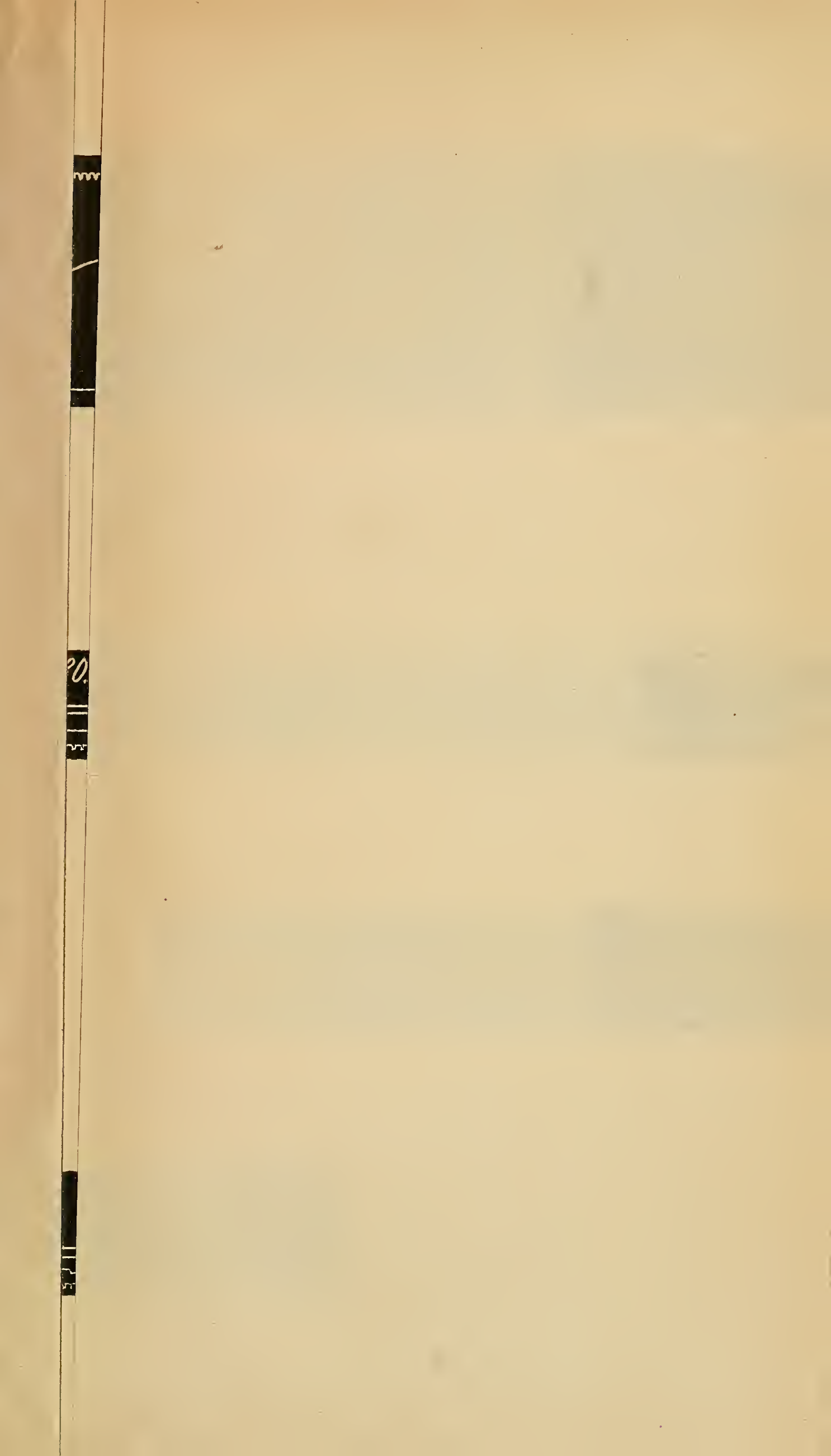
Nº 62.

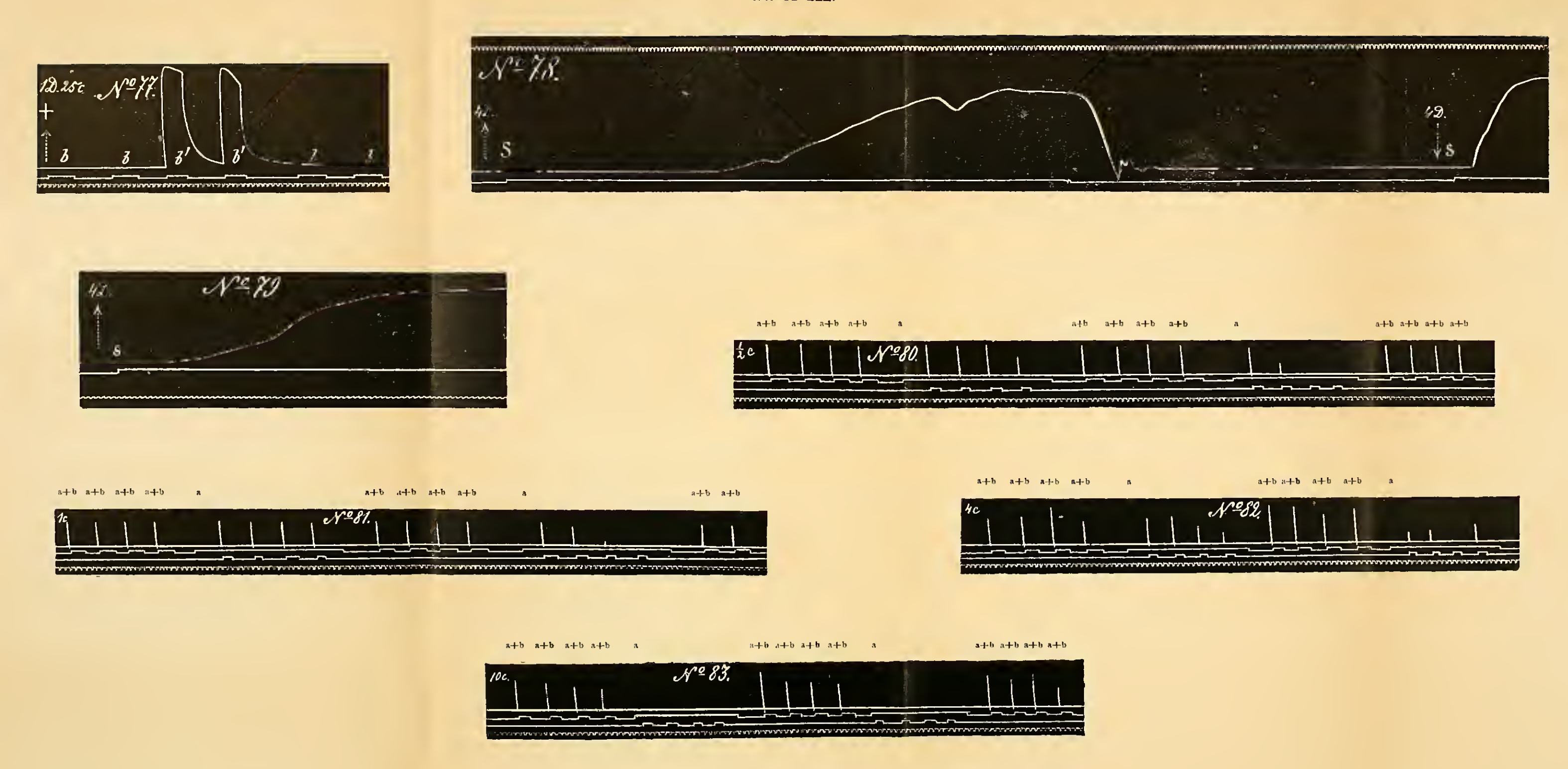


Nº 63.




No 64.
No 65.
No 66.
No 67.
No 68.
No 69.
No 70.
No 71.
No 72.
No 73.
No 74.
No 75.
No 76.





Nº 77.
1D.25c
b
b
b'
b'
Nº 78.
4D.
S
4D.
S
Nº 79
4D.
S
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b
½c
Nº 80.
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b
1c
Nº 81.
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b a
4c
Nº 82.
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b a
a+b a+b a+b a+b
10c.
Nº 83.

